



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES UNIDAD  
LEÓN**

**TEMA:**

ANÁLISIS BIOMECÁNICO DEL EQUILIBRIO EN ATLETAS DE  
COMBATE CON RIESGO DE CONMOCIÓN CEREBRAL

**FORMA DE TITULACIÓN:**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

LICENCIADO EN FISIOTERAPIA

**P R E S E N T A:**

Blanca Stephanie García Hernández



**ENES UNAM**  
UNIDAD LEÓN

**TUTOR:** Lic. Felipe de Jesús Martínez Matehuala

**ASESOR (A):** Mtra. Cristina Carrillo Prado

León, Guanajuato

2019



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## Dedicatorias

**A mis padres**, que son mis ángeles en la tierra, por su apoyo incondicional en todo momento, su esfuerzo y trabajo constante para que yo pueda alcanzar mis metas. Por su amor, cariño y comprensión.

**A mis hermanos**, que han estado acompañándome a lo largo de mi vida, haciéndome más amenos los días difíciles.

**A mi novio**, quien ha estado presente a lo largo de esta aventura, motivándome siempre a crecer, a perseguir mis sueños y a nunca darme por vencida a pesar de las circunstancias.

**A mis amigos**, que tantas veces soñamos juntos compartiendo metas; por su apoyo, cariño y motivación siempre.

**A mis profesores**, por su entrega y dedicación en la labor de la enseñanza; porque más que enseñarnos materias, nos enseñaban lecciones de vida. Gracias por la dedicación y educación de calidad.

**A mi tutor**, por su apoyo, dedicación y paciencia en la elaboración del trabajo.

*“A veces sentimos que lo que hacemos es tan sólo una gota en el mar, pero el mar sería menos si le faltara una gota.”*

*Madre Teresa de Calcuta*

# Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México

A la Escuela Nacional de Estudios Superiores, Unidad León

A la Licenciatura en Fisioterapia

A la Clínica de Fisioterapia de la Escuela Nacional de Estudios Superiores, Unidad León

Al exdirector, el Mtro. Javier de la Fuente Hernández

A la directora actual, Dra. Laura Susana Acosta Torres

A mi tutor de tesis, Lic. Felipe de Jesús Martínez Matehuala

A mi asesora, Mtra. Cristina Carrillo Prado

A la Unidad de Investigación en Neurodesarrollo

Al Laboratorio Universitario de Biomecánica

A mis compañeras de servicio social, por su colaboración en la realización del proyecto

Al programa de Becas de Fortalecimiento Académico de los Estudios de Licenciatura y Becas de Alta Exigencia Académica

Al programa de Becas para Titulación Egresados de Alto Rendimiento

## Resumen

**Introducción:** La Conmoción Cerebral Relacionada con el Deporte (CCRD), es una lesión cerebral traumática inducida por fuerzas biomecánicas. Su diagnóstico se basa en una evaluación clínica fundamentada en una lista de signos y síntomas; entre ellos, el equilibrio. Sin embargo, se ha demostrado que el estándar de oro para la evaluación del equilibrio post conmoción cerebral es poco eficaz en la detección de la misma. Un análisis biomecánico tridimensional, puede proporcionar variables que se puedan cuantificar y brindarnos un diagnóstico más certero. **Objetivo:** Determinar las variables cinéticas y cinemáticas que se correlacionan con las alteraciones del equilibrio presentes en la conmoción cerebral entre atletas de combate y un grupo control a través del análisis biomecánico. **Metodología:** Estudio no experimental, transversal, descriptivo. Se realizó un análisis biomecánico tridimensional en el Laboratorio Universitario de Biomecánica de la UNAM; en el que se aplicaron la Prueba BESS, Marcha en Tándem y Prueba T a un grupo control (15 sujetos) y un grupo de estudio (11 sujetos). El grupo control estaba constituido por atletas sin contacto y el de estudio por atletas de combate. Se llevó a cabo el registro, rastreo y análisis mediante el software BTS BIO ENGINEERING™. **Resultados:** Se encontraron variables cinéticas y cinemáticas en las tres pruebas con diferencias significativas entre ambos grupos ( $p \leq 0.05$ ). **Conclusión:** El análisis biomecánico tridimensional arrojó variables cinéticas y cinemáticas con diferencias significativas entre un grupo de estudio y un grupo control en la evaluación del equilibrio, que se pueden correlacionar con las alteraciones provocadas por una conmoción cerebral.

**Palabras clave:** Conmoción Cerebral; BESS; Marcha en Tándem; Prueba T; Biomecánica.

## Abstract

**Introduction:** Sports Related Concussion (SRC) is a traumatic brain injury induced by biomechanical forces. Its diagnosis is based on a clinical evaluation that is sustained on a list of signs and symptoms, including balance. However, it has been shown that the gold standard for evaluating post-concussion balance is not very effective in detecting it. A three-dimensional biomechanical analysis can provide variables that can be quantified and provide a more accurate diagnosis. **Objective:** To determine the kinetic and kinematic variables that correlate with the alterations of the balance present in the concussion between combat athletes and a control group through biomechanical analysis. **Methodology:** Non-experimental, transversal, descriptive study. A three-dimensional biomechanical analysis was carried out in the University Laboratory of Biomechanics of the UNAM; in which the BESS Test, Tandem Walk and T Test were applied to a control group (15 subjects) and a study group (11 subjects). The control group consisted of non-contact athletes and the study by combat athletes. The registration, tracking and analysis were carried out using the BTS BIO ENGINEERING™ software. **Results:** kinetic and kinematic variables were found in the three tests with significant differences between both groups ( $p \leq 0.05$ ). **Conclusion:** The three-dimensional biomechanical analysis revealed kinetic and kinematic variables with significant differences between a study group and a control group in the evaluation of balance, which can be correlated with the alterations caused by a concussion.

**Keywords:** Concussion; BESS; Tandem Gait; T test; Biomechanics.

# Índice De Contenido

|   |    |
|---|----|
| <b>Dedicatorias</b> .....   | 2  |
| <b>Agradecimientos</b> .....  | 3  |
| <b>Resumen</b> .....  | 4  |
| <b>Abstract</b> .....   | 5  |
| <b>Índice De Contenido</b> .....                                    | 6  |
| <b>Índice De Tablas</b> .....                                       | 9  |
| <b>Índice De Figuras</b> .....                                      | 10 |
| <b>Índice De Abreviaturas</b> .....                                 | 11 |
| <b>Introducción</b> .....   | 12 |
| <b>Capítulo I</b> .....   | 14 |
| Marco teórico .....   | 14 |
| 1.1 Conmoción cerebral.....   | 14 |
| 1.1.2 Conmoción cerebral relacionada con el deporte.....            | 14 |
| 1.2 Anatomía y fisiología.....                                      | 14 |
| 1.2.1 Señales eléctricas en las neuronas.....                       | 17 |
| 1.2.2 Canales iónicos.....  | 17 |
| 1.2.3 Potencial de membrana en reposo.....                          | 18 |
| 1.2.4 Potenciales graduados.....                                    | 19 |
| 1.2.5 Potencial de acción.....                                      | 19 |
| 1.3 Física de la conmoción cerebral.....                            | 20 |
| 1.4 Fisiopatología.....   | 20 |
| 1.4.1 Crisis energética.....  | 21 |
| 1.4.2 Daño axonal.....  | 22 |
| 1.5 Consecuencias de la conmoción cerebral.....                     | 22 |
| 1.6 Diagnóstico.....  | 23 |
| 1.7 Equilibrio.....   | 24 |
| 1.7.1 Causas de pérdida del equilibrio post conmoción cerebral..... | 24 |
| 1.7.2 Pruebas de equilibrio.....                                    | 24 |
| 1.8 Boxeo.....  | 26 |
| 1.9 Biomecánica.....  | 27 |

|   |           |
|---|-----------|
| 1.9.1 Leyes de Newton.....                      | 28        |
| 1.9.2 Análisis biomecánico tridimensional.....  | 28        |
| <b>Capítulo II</b> .....                        | <b>31</b> |
| 2.1 Antecedentes.....                           | 31        |
| 2.2 Planteamiento del problema.....             | 33        |
| 2.3 Pregunta de investigación.....              | 34        |
| 2.4 Justificación.....                          | 34        |
| 2.5 Objetivo general.....                       | 35        |
| 2.5.1 Objetivos específicos.....                | 35        |
| 2.6 Hipótesis.....                              | 35        |
| <b>Capítulo III</b> .....                       | <b>36</b> |
| Metodología.....                                | 36        |
| 3.1 Tipo de estudio y diseño.....               | 36        |
| 3.2 Universo del estudio.....                   | 36        |
| 3.3 Características de la muestra.....          | 36        |
| 3.4 Definición del grupo de estudio.....        | 36        |
| 3.4.1 Criterios de inclusión.....               | 36        |
| 3.4.3 Criterios de exclusión.....               | 37        |
| 3.4.3 Criterios de eliminación.....             | 37        |
| 3.5 Definición del grupo control.....           | 37        |
| 3.5.1 Criterios de inclusión.....               | 37        |
| 3.5.2 Criterios de exclusión.....               | 37        |
| 3.5.3 Criterios de eliminación.....             | 37        |
| 3.6 Metodología para la obtención de datos..... | 38        |
| 3.7 Ética del estudio.....                      | 47        |
| <b>Capítulo IV</b> .....                        | <b>48</b> |
| Análisis estadístico.....                       | 48        |
| <b>Capítulo V</b> .....                         | <b>49</b> |
| Resultados.....                                 | 49        |
| <b>Capítulo VI</b> .....                        | <b>70</b> |
| Discusión.....                                  | 70        |
| <b>Capítulo VII</b> .....                       | <b>73</b> |



|   |           |
|---|-----------|
| Conclusiones.....   | 73        |
| Limitaciones del estudio.....                                       | 74        |
| <b>Referencias</b> .....  | <b>75</b> |
| <b>Anexos</b> .....   | <b>79</b> |
| Anexo 1. Manual BESS.....   | 80        |
| Anexo 2. Sport Concussion Assessment Tool 5th Edition.....          | 88        |
| Anexo 3. Consentimiento Informado.....                              | 96        |
| Anexo 4. Historia Clínica.....                                      | 98        |
| Anexo 5. Tabla de medidas antropométricas y evaluación clínica..... | 101       |

## Índice De Tablas

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. Leyes de Newton.....   | 28 |
| Tabla 2. Condiciones de Prueba BESS.....  | 43 |
| Tabla 3. Calificación de Prueba “T” de equilibrio.....  | 45 |
| Tabla 4. Variables demográficas.....  | 49 |
| Tabla 5. Aplicación de pruebas estadísticas a variables demográficas.....   | 49 |
| Tabla 6. Estadística de variables clínicas.....   | 50 |
| Tabla 7. Correlación de Pearson (puntajes clínicos-con años de entrenamiento).....                                | 50 |
| Tabla 8. Variables espaciotemporales de las 6 condiciones de prueba BESS.....                                     | 60 |
| Tabla 9. Variables espaciotemporales de la Marcha en Tándem.....  | 63 |
| Tabla 10. Variables espaciotemporales de la Prueba T.....   | 65 |
| Tabla 11. Correlación de Pearson (Variables espaciotemporales de BESS- con años de entrenamiento).....            | 67 |
| Tabla 12. Correlación de Pearson (Variables espaciotemporales de Marcha en Tándem-con años de entrenamiento)..... | 68 |
| Tabla 13. Correlación de Pearson (Variables espaciotemporales de Prueba T- con años de entrenamiento).....        | 69 |

## Índice De Figuras

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Figura que representa los huesos de la calota.....                                       | 15 |
| Figura 2. Figura que representa las estructuras del cerebro.....                                   | 16 |
| Figura 3. Figura que representa los canales iónicos.....   | 18 |
| Figura 4. Fases del potencial de acción.....   | 19 |
| Figura 5. Figura que representa la cascada neurometabólica de la lesión cerebral traumática leve.. | 21 |
| Figura 6. Ramas de la mecánica y sus subdivisiones.....  | 27 |
| Figura 7. Figura que representa el Modelo Modificado por Helen Heyes.....                          | 29 |
| Figura 8. Figura que representa la posición anatómica, los planos y ejes del cuerpo.....           | 30 |
| Figura 9. Colocación de marcadores en miembros superiores.....                                     | 39 |
| Figura 10. Colocación de marcadores en tronco, cara posterior.....                                 | 39 |
| Figura 11. Colocación de marcadores en miembros superiores.....                                    | 40 |
| Figura 12. “Bipedestación”.....  | 41 |
| Figura 13. Prueba T.....   | 44 |
| Figura 14. Marcha en Tándem.....   | 46 |
| Figura 15. Movimientos de la pelvis (lado derecho).....  | 51 |
| Figura 16. Movimientos de la pelvis (lado izquierdo).....  | 52 |
| Figura 17. Movimientos del pie derecho.....  | 53 |
| Figura 18. Movimientos del pie izquierdo.....  | 53 |
| Figura 19. Movimientos de la rodilla.....  | 54 |
| Figura 20. Movimientos de cadera (derecha).....  | 55 |
| Figura 21. Movimientos de cadera (izquierda).....  | 55 |
| Figura 22. Movimientos de pelvis (lado derecho).....   | 56 |
| Figura 23. Movimientos de pelvis (lado izquierdo).....   | 57 |
| Figura 24. Movimientos de rodilla (derecha).....   | 57 |
| Figura 25. Movimientos de rodilla (izquierda).....   | 58 |
| Figura 26. Lateralización de cuello.....   | 59 |
| Figura 27. Flexo-extensión de tronco.....  | 59 |

## Índice De Abreviaturas

|                |  |
|----------------|--|
| <b>CCRD</b>    | Conmoción Cerebral Relacionada con el Deporte            |
| <b>BESS</b>    | Balance Error Scoring System                             |
| <b>SCAT5</b>   | Sport Concussion Assessment Tool 5 <sup>th</sup> Edition |
| <b>LCR</b>     | Líquido Cefalorraquídeo                                  |
| <b>TC</b>      | Tomografía Computarizada                                 |
| <b>IMR</b>     | Imagen por Resonancia Magnética                          |
| <b>DAD</b>     | Daño Axonal Difuso                                       |
| <b>ITD</b>     | Imagen por tensor de Difusión                            |
| <b>SOT</b>     | Sensory Organization Test                                |
| <b>MHH</b>     | Modified Helen Hayes                                     |
| <b>COBALT</b>  | Concussion Balance Test                                  |
| <b>CDC</b>     | Centers for Disease Control and Prevention               |
| <b>CONACYT</b> | Consejo Nacional de Ciencia Y Tecnología                 |
| <b>SCAT2</b>   | Sport Concussion Assessment Tool 2 <sup>nd</sup> Edition |
| <b>DCCD</b>    | Declaración del Consenso de Conmoción en el Deporte      |
| <b>UNAM</b>    | Universidad Nacional Autónoma de México                  |
| <b>SPSS</b>    | Statistical Package for the Social Sciences              |
| <b>BPF</b>     | Bipodal Firme  |
| <b>BPI</b>     | Bipodal Inestable  |
| <b>UPF</b>     | Unipodal Firme   |
| <b>UPI</b>     | Unipodal Inestable                                       |
| <b>PTF</b>     | Postura en Tándem Firme                                  |
| <b>PTI</b>     | Postura en Tándem Inestable                              |
| <b>MAHTA</b>   | Marcha en Tándem   |

## Introducción

La conmoción cerebral es una lesión cerebral traumática que puede tener afecciones heterogéneas en cada individuo. No es exclusiva del ámbito deportivo (1), sin embargo, en la actividad física tiene una incidencia de 1.6 a 3.8 millones cada año en los Estados Unidos de América (2,3). En México, existe escasa investigación sobre el tema; no obstante, cada vez es mayor la concientización sobre el diagnóstico y manejo de este tipo de lesión (4).

Uno de los deportes con mayor riesgo de presentar dicha lesión es el boxeo, el cual, es un deporte de combate a través de los puños que consiste en golpear al oponente en estructuras corporales como el tronco y la cabeza. La literatura muestra que el mayor porcentaje de lesiones en esta actividad física (27.1 al 93.4%) es en la cabeza (5).

La Conmoción Cerebral Relacionada con el Deporte (CCRD) se caracteriza por no tener presencia de alteraciones neurológicas focales detectables fácilmente (6); asimismo, los estudios de imagen convencional no son capaces de detectar la lesión debido a que se trata de alteraciones funcionales y no estructurales (6–8). Por lo tanto, el diagnóstico se basa principalmente en una evaluación clínica que se fundamenta en una lista de signos y síntomas (6).

El equilibrio, es uno de los signos clínicos que manifiesta alteraciones y que se ha utilizado para el diagnóstico de la lesión cerebral traumática (1). A pesar de su implementación, la literatura indica que la prueba sugerida por la herramienta de evaluación para la conmoción cerebral en el deporte (SCAT5), BESS (Balance Error Scoring System), tiene niveles de sensibilidad y especificidad bajos debido a que se basa en una evaluación subjetiva (del clínico que la aplica) (9–11).

Ante esta situación, surge la necesidad de encontrar la forma de cuantificar y objetivar las escalas de medición, para obtener un diagnóstico más certero. Autores como Tator, mencionan que un mal diagnóstico o tratamiento puede llegar a producir una discapacidad e incluso la muerte. McCrory, afirma que se deben instaurar pautas basadas en la evidencia científica para el retorno oportuno a la actividad física, ya que el cerebro lesionado tiene un período de vulnerabilidad que puede ocasionar un síndrome de segundo impacto (6). Es a través de la biomecánica, donde encontramos la posibilidad de detectar alteraciones específicas provocadas por la conmoción cerebral en el equilibrio.

La biomecánica es la ciencia que estudia los procesos biológicos y fisiológicos humanos a través de la mecánica. Se basa en fundamentos mecánicos para poder explicar ciertos fenómenos, a su vez, la mecánica se encarga de estudiar el movimiento de los cuerpos en base al tiempo; la cual, para su estudio se divide en estática y dinámica. La estática se encarga de estudiar el equilibrio de los cuerpos, mientras que, la dinámica se ocupa de los cuerpos en movimiento. Ésta, se divide de igual

forma, en cinética (estudia las fuerzas que producen el movimiento) y cinemática (estudia el movimiento sin tomar en cuenta las fuerzas) (12).

Las evaluaciones biomecánicas tridimensionales, nos brindan un sinfín de variables respecto a algún movimiento. Es por eso, que el objetivo del estudio fue determinar las variables cinéticas y cinemáticas que se correlacionan con las alteraciones del equilibrio presentes en la conmoción cerebral entre atletas de combate y un grupo control a través del análisis biomecánico.

De esta manera, se realizó la comparación entre dos grupos, un grupo control de 15 participantes (atletas sin contacto), y un grupo de estudio (atletas de combate) de 11 participantes. Fue un estudio no experimental, transversal (de una sola medición) y descriptivo; donde se aplicaron una batería de 3 pruebas de equilibrio: prueba BESS, Marcha en Tándem y Prueba T. El estudio se efectuó en el Laboratorio Universitario de Biomecánica de la UNAM campus Juriquilla. Se realizó un modelo biomecánico específico, con el que se llevó a cabo la captura de los datos (movimientos). Se hizo una antropometrización, y a través del software BTS BIO ENGINEERING™ se obtuvieron variables cinéticas y cinemáticas de cada prueba. Posteriormente, mediante el programa SPSS® Statistics versión 20.0, se ejecutó un análisis estadístico donde se buscaron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre ambos grupos.

Se aceptó la hipótesis alterna, en la que se menciona que el análisis biomecánico de la Prueba BESS, Marcha en Tándem y Prueba T, nos proporcionará variables cinéticas y cinemáticas que se correlacionen con las alteraciones provocadas por la conmoción cerebral en atletas de combate, lo que representa que se encontraron variables con diferencias significativas que pueden ser utilizadas para medir alteraciones del equilibrio.

A pesar de lo anterior, se concluyó que no todas las pruebas son recomendables para objetivar las modificaciones de la estabilidad, siendo la Marcha en Tándem de la que más variables se obtuvieron, de igual manera, la Prueba BESS, fue encontrada como poco sugerida para dicha evaluación, ya que las variables que se encontraron con diferencia significativa fueron mínimas.

La aportación científica que nos deja el presente estudio, concuerda con otros autores (9,10) en que la Prueba BESS es poco eficaz en la detección de la CCRD, incluso, siendo evaluada a través de un análisis biomecánico tridimensional. Sin embargo, el análisis biomecánico de la Marcha en Tándem y Prueba T, pueden servir como una herramienta de evaluación objetiva confiable que nos permita detectar y relacionar alteraciones presentes en el equilibrio de deportistas de combate con una conmoción cerebral. Y de esta manera, se puedan tomar decisiones correctas tanto para el regreso oportuno, como para el manejo de la lesión; así como, para la implementación de un adecuado tratamiento fisioterapéutico.

# Capítulo I

## Marco teórico:

### 1.1 Conmoción cerebral

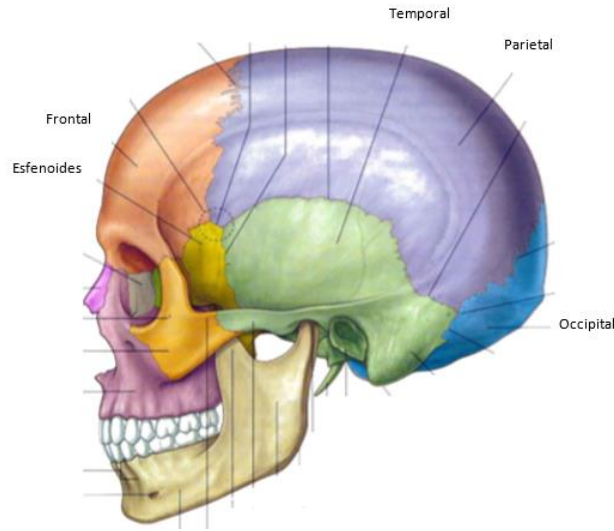
La conmoción cerebral es una lesión del cerebro que puede representar afecciones muy distintas en cada persona, generalmente, se presentan alteraciones del equilibrio estático y dinámico, problemas cognitivos, neuropsicológicos, afecciones vestibulares, entre otras (1,13–15). La conmoción cerebral, también conocida como lesión cerebral traumática leve, no es exclusiva del ámbito deportivo; puede afectar a cualquier persona, en cualquier edad o momento de la vida sin importar el entorno sociocultural (1,6).

#### 1.1.1 Conmoción cerebral relacionada con el deporte.

Según la quinta conferencia internacional de conmoción en el deporte, que tuvo lugar en Berlín 2016: *“La Conmoción Cerebral Relacionada con el Deporte (CCRD) es una lesión cerebral traumática inducida por fuerzas biomecánicas”*. Se han definido algunas variables que permiten determinar la presencia de una CCRD: “ 1) *La CCRD puede ser causada por un golpe directo en la cabeza, cara, cuello u otra parte del cuerpo con una fuerza impulsiva transmitida a la cabeza.* 2) *La CCRD típicamente resulta en el inicio rápido de una alteración de corta duración de la función neurológica que se resuelve espontáneamente. Sin embargo, en algunos casos, los signos y síntomas evolucionan de varios minutos a horas.* 3) *La CCRD puede dar lugar a cambios neuropatológicos, pero los signos y síntomas clínicos agudos reflejan en gran medida una alteración funcional más que una lesión estructural y, como tal, no se observan anomalías en los estudios de neuroimagen estructural estándar.* 4) *La CCRD produce una variedad de signos y síntomas clínicos que pueden o no implicar pérdida de la conciencia”*. La recuperación tiene lugar dentro de los 3 a 7 días, pero en ciertas ocasiones ésta puede ser más lenta (7).

### 1.2 Anatomía y fisiología

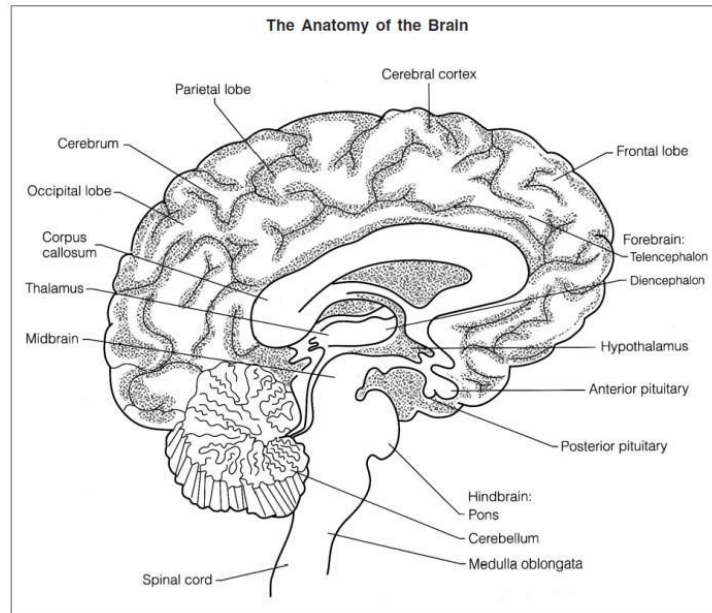
El cráneo está conformado por 22 huesos con calidad de inmóviles, exceptuando la mandíbula. Se unen entre sí a través de suturas y se divide en 2 partes, la superior o calota y la inferior o viscerocráneo. La calota es la estructura que contiene al encéfalo, y está formada por dos huesos temporales, dos parietales, un frontal, un occipital, un etmoides y un esfenoides (Figura 1) (16–18).



**Figura 1.** Figura que representa los huesos de la calota. Modificada de Anatomía de Grey 2005.

El cerebro es el órgano más complejo del cuerpo humano, forma parte del encéfalo siendo la estructura de mayor volumen y se encuentra contenido en el cráneo, abarcando la porción anterior y media; se ubica encima de la tienda de cerebelo (figura 2) (17,19). El cerebro está rodeado de líquido cefalorraquídeo, que además de cumplir con funciones metabólicas y de nutrición, brinda protección a éste órgano y amortigua los golpes contra el cráneo evitando que se lesione (20). El cerebro se constituye por dos tipos de células principales, las células nerviosas o neuronas y las células de la neuroglia. Se estima que existen alrededor de cien millones de neuronas en el cerebro de un adulto, y un mayor número de células gliales (19). Las neuronas son las encargadas de llevar a cabo las tareas primordiales del sistema nervioso, como el pensamiento, la sensibilidad, el movimiento; mientras que las células gliales se encargan de dar sostén, nutrición y protección neuronal (21).





**Figura 2.** *Figura que representa las estructuras del cerebro.* Tomada de Urbas J V. Brain. In: Enciclopedia de las Ciencias. 2017

Las neuronas están formadas por un cuerpo neuronal o soma, una gran cantidad de ramificaciones llamadas dendritas y una derivación más larga conocida como axón; el cual, está encargado de transmitir los impulsos nerviosos. Estos últimos, son señales eléctricas que se inician normalmente en el punto de unión del axón y el soma por el flujo de iones a través de los canales iónicos y se propagan a lo largo de la membrana plasmática neuronal a una velocidad que alcanza los 130m por segundo (19,21).

Los puntos donde una neurona comparte su información con otra, en el cerebro, se conoce como sinapsis (19). Existen dos tipos de sinapsis, las eléctricas y las químicas. Las eléctricas se transmiten directamente de neurona a neurona, a través de corriente iónica (22,23). Mientras que en las químicas, existe un pequeño espacio entre la neurona presináptica y la postsináptica, por lo que es necesaria la liberación de sustancias químicas que favorezcan la transmisión del potencial de acción, los neurotransmisores (21,23).

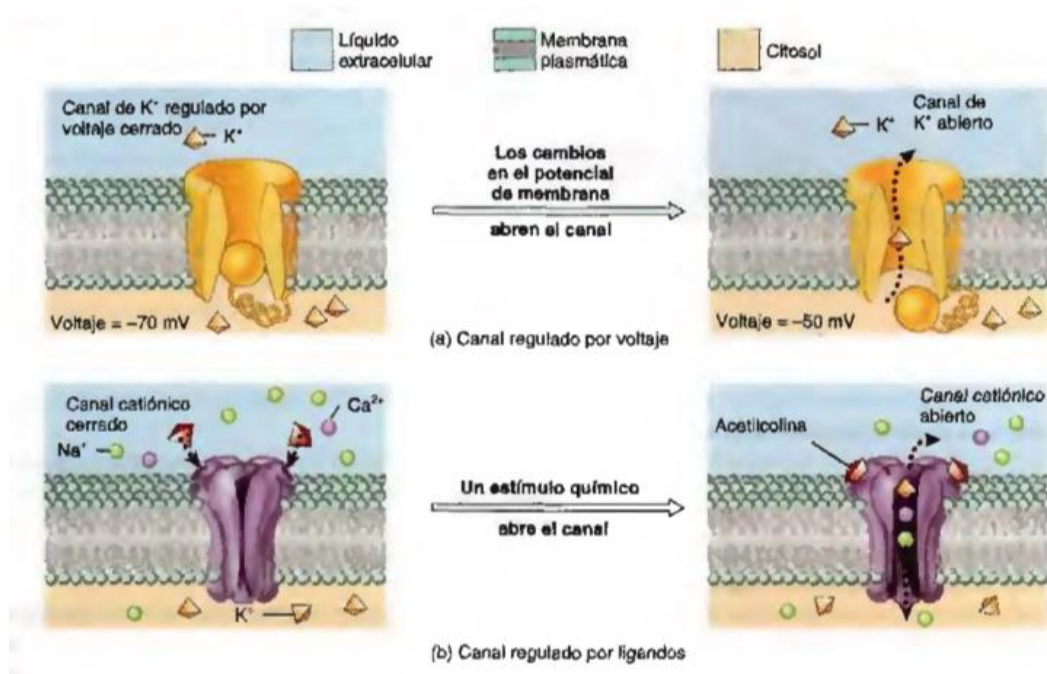
## **1.2.1 Señales eléctricas en las neuronas**

Las células nerviosas se comunican entre sí a través de dos tipos de señales: 1) los que permiten la comunicación a distancias cortas, llamados potenciales graduados; y 2) los que ayudan a la comunicación en distancias cortas y largas, potenciales de acción. Para que puedan existir estas señales debe haber un potencial de membrana en reposo y la presencia de canales iónicos. Como su nombre lo dice, los canales iónicos, permiten el paso de iones dentro y fuera de la célula; éstos se abren a través de diferentes estímulos. Mientras que el potencial de membrana se refiere a la diferencia de potencial eléctrico que hay a través de la membrana plasmática (21).

## **1.2.2 Canales iónicos**

La membrana plasmática está conformada por una doble capa de lípidos, a la cual, atraviesan proteínas que sirven como canales para los iones (22). Los iones pasan a través de éstos canales siguiendo un gradiente electroquímico; es decir, que van de donde hay una mayor a menor concentración, y que los iones positivos se mueven hacia el lado negativo, y los negativos hacia el lado positivo. Las compuertas de los canales se abren con diferentes mecanismos, dependiendo del tipo de canal (Figura 3): pasivos, dependientes de voltaje, dependientes de ligandos y accionados mecánicamente (21).

Los canales pasivos se abren y cierran aleatoriamente, los dependientes de voltaje lo harán cuando haya un cambio en el mismo; entre tanto, las compuertas dependientes de ligandos, se abrirán en respuesta a factores químicos que se unan a las proteínas, tales como hormonas o neurotransmisores. Y por último, los accionados mecánicamente se abrirán ante estímulos mecánicos, como las vibraciones o fuerzas aplicadas a los tejidos (21,22,24).



**Figura 3.** Figura que representa los canales iónicos. a) Canal regulado por voltaje, b) canal regulado por ligandos. Tomado de Tortora-Derrickson 2006.

### 1.2.3 Potencial de membrana en reposo

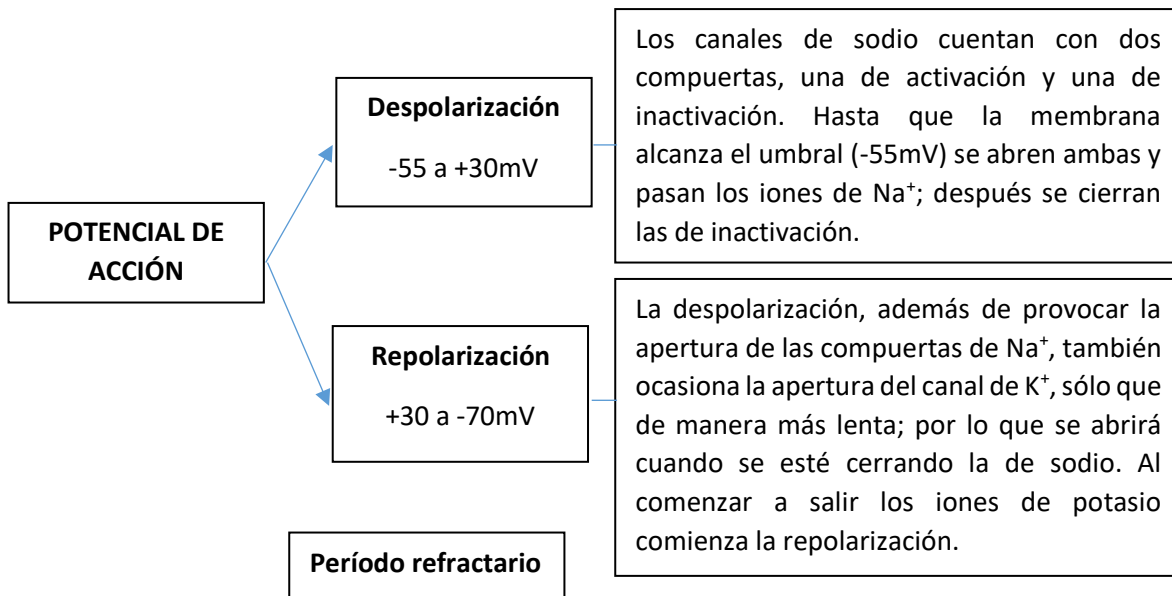
El potencial de la membrana se da por la presencia de un cúmulo de cargas negativas por dentro de la membrana plasmática y cargas positivas en el espacio extracelular, las cuales son parecidas en ambos lados. La división de las cargas a través de la membrana nos dará la energía potencial, la cual se mide en milivoltios (mV). El potencial de las neuronas varía entre los  $-40$  y  $-90\text{ mV}$ . En el espacio extracelular predominan los iones de sodio  $Na^+$  y cloruro  $Cl^-$ ; en el citoplasma predominan los iones de potasio  $K^+$ , y los fosfatos. Al haber una gran concentración de potasio en el interior de la célula, los iones comienzan a salir de ella a favor de su gradiente de concentración, a través de canales pasivos; sin embargo, al salir las cargas positivas, la carga ahora será más negativa, por lo que los cationes regresan al interior a favor del gradiente químico. Por su parte, los iones de  $Na^+$  ingresan a la célula a favor de su gradiente de concentración, aunque los canales pasivos para este catión son menores. La entrada y salida de sodio y potasio está regulada por la bomba sodio-potasio ( $Na^+/K^+$  ATPasa), por la cual se liberan 3 iones de  $Na^+$  por cada ion de  $K^+$  (21,25).

## 1.2.4 Potenciales graduados

Los potenciales graduados se producen cuando se abre o cierra un canal mediado por ligandos o mediado mecánicamente, a causa de un estímulo. Cuando el interior de la célula queda más negativo, se le llama potencial graduado hiperpolarizante. Por el contrario, cuando queda menos negativo, o más positivo, se le llama potencial graduado despolarizante. Como se mencionó anteriormente, este tipo de potenciales ayuda sólo en la comunicación de distancias cortas (21,26).

## 1.2.5 Potencial de acción

El potencial de acción se constituye de dos fases: la despolarización, donde pasa de tener carga negativa a cero y luego carga positiva; y la repolarización, donde de ser positiva se vuelve negativa. El proceso comienza con la apertura del canal de sodio y la entrada de un ion  $\text{Na}^+$  a través de la membrana; con lo que se produce la despolarización. Posteriormente, se abre el canal de potasio y hay una salida de dicho ion, repolarización (figura 4) (21,25).



**Figura 4.** Fases del potencial de acción. De autoría propia. Consultado de: Tortora-Derrickson 2006.

### 1.3 Física de la conmoción cerebral

La biomecánica de la conmoción cerebral se fundamenta en que la densidad del cerebro es menor que la del líquido cefalorraquídeo (LCR), por lo que, en un traumatismo directo o indirecto, el cerebro logra moverse dentro del cráneo. Toledo y colaboradores mencionan, en 2016, que *“la física de la conmoción se sustenta en ciertos cambios: 1) estrés compresivo no uniforme, 2) retraso del cerebro y rotación, 3) lesión de impacto golpe-contra-golpe, y 4) aceleración/desaceleración”* (27,28). Dichos cambios llevarán a una alteración funcional importante en el tejido nervioso, como la desafección de la corteza y lesiones en el tronco encefálico; lo cual, ocasiona la pérdida de la conciencia (27,29).

La edad es un factor importante en la lesión cerebral traumática, ya que un cráneo inmaduro es más propenso a sufrir lesiones; de igual forma, dependerá del nivel de mielinización y volumen sanguíneo cerebral (27,30–32). En cuanto a las áreas afectadas, serán relativas al lugar de la lesión (27).

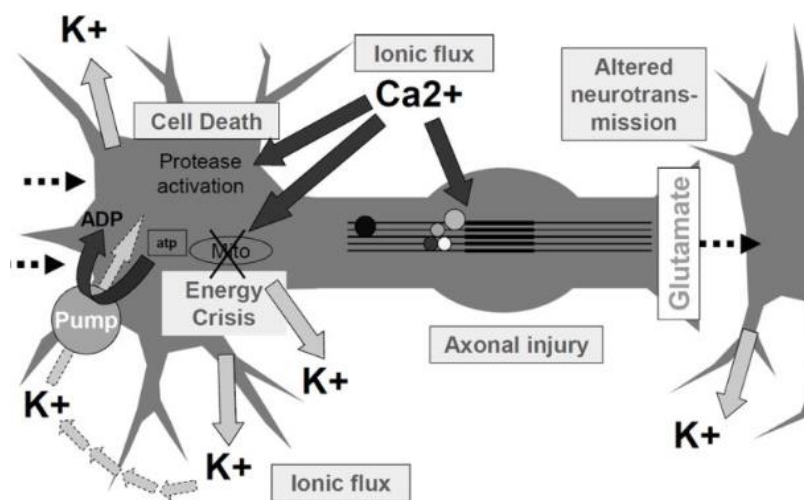
De igual manera, Stemper menciona que existen dos tipos de fuerzas que perjudican al cerebro, las de contacto y las de inercia. Las de contacto afectan tanto la zona del impacto como regiones distantes. Las de inercia tienen dos tipos de fuerza principales, aceleración lineal y rotacional (33). Se cree que el cerebro es más susceptible a sufrir daño ocasionado por las fuerzas rotacionales, considerándose, las alteraciones por cizallamiento, la forma de lesión más común de la conmoción cerebral (33); sin embargo, Chancellor afirma que las diferencias entre lesiones por fuerzas lineales y rotacionales sigue siendo un tema de investigación actual (34).

### 1.4. Fisiopatología

Diversos autores (2,9,35) mencionan que la fisiopatología de la CCRD es poco conocida; sin embargo, está descrito que se debe a la transmisión de fuerzas lineales y/o rotacionales al cerebro, lo que provoca una alteración en la homeostasis celular y la presencia de una cascada neurometabólica (figura 5). Dichas fuerzas biomecánicas causan una lesión en la membrana plasmática conocida como “mecanoporación”, en la cual, proteínas son despegadas de las capas de lípidos (35–37). Lo anterior, genera la liberación de potasio y la despolarización de la membrana (35).

La despolarización favorece la liberación de neurotransmisores excitadores como el glutamato, el cual, promueve la salida de potasio a través de los canales activados por ligandos y se une a N-metil-D-aspartato; lo que genera una continua despolarización e hiperexcitabilidad. De igual forma, el glutamato provoca la entrada de iones de  $\text{Ca}^+$  y  $\text{Na}^+$  a través de la membrana plasmática. Todo esto conlleva a una crisis energética (35).

## Neurometabolic Cascade of mTBI



**Figura 5.** Figura que representa la cascada neurometabólica de la lesión cerebral traumática leve. Tomada de Giza-Hovda 2014.

### 1.4.1 Crisis energética

Las mitocondrias buscan lograr el equilibrio del flujo iónico, por lo que necesitan una mayor cantidad de energía (35,37), es por eso, que el momento posterior a la lesión cerebral traumática leve está precedido por un período de hiperglucólisis, la cual, sucede en un momento donde el flujo sanguíneo cerebral es bajo; lo que conlleva al desequilibrio energético (2,37). Está documentado, en estudios con animales, que la glucólisis aumenta de un 30 a 46% los 30 minutos posteriores a la lesión, y que dura alrededor de 6 horas (35,38).

La hiperglucólisis es secuenciada por una hipoglucólisis que dura los siguientes 5 a 10 días después de la lesión (35). Este, es el período en el que puede suceder lo que se conoce como síndrome de segundo impacto, momento en el que el cerebro es más susceptible a alteraciones (35,37).

El flujo de iones de  $Ca^{2+}$  al interior de la célula, que sucedió anteriormente y que persiste más que los demás iones, es solucionado mediante el secuestro del mismo ion en las mitocondrias. Sin embargo, esta solución puede traer problemas posteriores como la disfunción mitocondrial y problemas con el metabolismo oxidativo (37).

### **1.4.2 Daño axonal**

Las fuerzas biomecánicas (tanto lineales como rotacionales), provocan también, una disfunción en los axones; los cuales, sufren una distorsión en los microtúbulos y neurofilamentos, que conlleva a la pérdida de la continuidad (27,35,37,39,40). Pese a esto, estudios revelan que no necesariamente existe una muerte celular, sino que hay un encogimiento neuronal que no le permite realizar sus funciones adecuadamente (37,38). De igual forma, el aumento en el nivel de calcio, puede alterar los microtúbulos en las horas posteriores a la lesión cerebral (6 a 24 horas) (35,41).

### **1.5 Consecuencias de la conmoción cerebral**

Está documentado que las personas que sufren una conmoción cerebral, manifiestan una gran variedad de signos y síntomas físicos, cognitivos y psicológicos. Un mal diagnóstico o tratamiento de una conmoción puede llegar a producir una discapacidad o la muerte; así como pueden presentarse consecuencias a largo plazo. Un ejemplo de esto es el síndrome de segundo impacto, el cual se produce cuando un jugador regresa a su actividad deportiva antes de una recuperación completa, y al recibir un segundo traumatismo se puede llegar a provocar la muerte (6). Dicho síndrome fue detallado por primera vez en 1973 por Schneider, y se caracteriza por una falla en la regulación de la vasculatura cerebral que provoca una inflamación hiperémica y un aumento de la presión intracraneal; esto va a conducir a una herniación de ciertas estructuras encefálicas como los lóbulos temporales, las amígdalas cerebelosas (en el foramen magno) y un aplastamiento del tronco encefálico. Lo anterior, compromete funciones vitales como la respiración y se puede llegar a un colapso en cuestión de minutos (42–44).

Por otro lado, las continuas y repetitivas conmociones o subconmociones cerebrales ocasionadas por el deporte pueden llegar a causar un síndrome llamado Encefalopatía Traumática Crónica, el cual implica un conjunto de síntomas neurológicos, neuropsicológicos y neuropsiquiátricos (8,45,46). Esto conlleva también a una degeneración cerebral postraumática tardía, la cual puede condicionar a problemas de la memoria, depresión, demencia y enfermedades como Parkinson y Alzheimer (6,8). La presencia de dichas patologías puede correlacionarse con la hiperfosforilación de Tau (proteína que influye en el transporte axonal) (47,48). Además, la literatura confirma que otras funciones cognitivas también se ven afectadas; tales como el aprendizaje, la atención, el procesamiento y el funcionamiento ejecutivo (1).

## 1.6 Diagnóstico

En la CCRD no existe presencia de alteraciones neurológicas focales detectables fácilmente, se caracteriza por síntomas en su mayoría tenues, que los deportistas tienden a minimizar para no abandonar la actividad competitiva (6,49,50). Por otro lado, tampoco hay biomarcadores cerebrales que indiquen la presencia de una conmoción. Los estudios de imagen convencionales, como la Tomografía Computarizada (TC) o la Imagen por Resonancia Magnética (IRM), no poseen precisión para percibir un Daño Axonal Difuso (DAD), incluso después de repetidos traumatismos; esto debido a que las alteraciones son funcionales y no estructurales (6–8). Los investigadores trabajan por encontrar un biomarcador en suero o en líquido cefalorraquídeo que se pueda correlacionar con la conmoción cerebral. Sin embargo, las Imágenes por Tensor de Difusión (ITD) han sido de gran ayuda para identificar el DAD y analizar la macro y microestructura de la lesión cerebral (6,8,51).

Debido a lo anterior, el diagnóstico de una CCRD se basa principalmente en una evaluación clínica que se fundamenta en una lista de signos y síntomas, pruebas neuropsicológicas y del equilibrio (6). Sin embargo, este no puede considerarse definitivo, sino una herramienta para determinar la evolución del paciente (52). McCrory menciona que *“el diagnóstico puede incluir uno o más de los siguientes dominios clínicos: a. Síntomas: síntomas somáticos (p. Ej., Dolor de cabeza), cognitivos (p. Ej., Sensación de estar en una niebla) y / o emocionales (p. Ej., Labilidad). b. Signos físicos (p. Ej., Pérdida de conciencia, amnesia, déficit neurológico). C. Deficiencia en el equilibrio (p. Ej., Inestabilidad de la marcha). D. Cambios de comportamiento (p. Ej., Irritabilidad). E. Deterioro cognitivo (p. Ej., Tiempos de reacción más lentos). F. Alteración de sueño / vigilia (p. Ej., Somnolencia)”* (7).

El equilibrio es uno de los signos clínicos que se puede cuantificar más objetivamente y ha sido empleado como un indicador de la conmoción cerebral. La evaluación de la postura (posición del cuerpo en relación con la gravedad) y la marcha (locomoción bípeda humana) nos permiten identificar déficits del equilibrio. La marcha representa un proceso motor muy complejo que se desarrolla durante los primeros años de la vida del ser humano por lo que conlleva una ardua tarea del control postural (1). Las investigaciones manifiestan que existen déficits en los movimientos del centro de gravedad humano durante la marcha, así como en las velocidades del mismo. También se han encontrado alteraciones en el equilibrio en deportistas con conmoción cerebral (53).



## **1.7 El Equilibrio**

El equilibrio es la posibilidad que tiene un cuerpo de mantenerse centrado sobre los pies evitando caídas durante el movimiento (1,54). Dicha posibilidad se puede llevar a cabo debido a diversos factores, tales como la fuerza muscular, los sentidos, las capacidades cognitivas y la coordinación. El equilibrio nos permite ajustar nuestro cuerpo antes de sufrir una caída y es de suma importancia en todas las actividades de nuestra vida diaria, desde las estáticas (estar sentado, parado, etc.) hasta las dinámicas o que implican la locomoción (caminar, correr, hacer deporte, etc.). Éste se ve muchas veces afectado en las lesiones cerebrales traumáticas (54).

### **1.7.1 Causas de pérdida del equilibrio post conmoción cerebral**

Las causas más frecuentes de las alteraciones del equilibrio están relacionadas con los sentidos: A) Debido a que la visión es elemental para mantener el equilibrio, las alteraciones visuales provocan una mayor inestabilidad. B) Problemas del oído interno. El oído interno está formado por los conductos semicirculares que nos informan sobre los movimientos de rotación de la cabeza y los otolitos que perciben los movimientos lineales. El oído interno o laberinto, forma el sistema vestibular, y cualquier lesión en el mismo nos va a provocar vértigo, mareos o pérdida del equilibrio. C) Los trastornos sensoriales pueden provocar que se envíe información errónea al cerebro y provocar alteraciones en el equilibrio. D) Las conmociones cerebrales pueden lesionar el tronco encefálico y cerebelo, estructuras en las que se lleva a cabo el control del movimiento, y por consecuente provocar alteraciones. E) La fístula perilinfática. En ocasiones, después de una lesión, existe una fuga del líquido del oído interno al medio; lo cual provoca mareos, náuseas e inestabilidad. F) Entre otros (54).

### **1.7.2 Pruebas de equilibrio**

La evaluación postural y del equilibrio es empleada junto con otras pruebas como indicador fundamental de la conmoción cerebral. Una de las primeras pruebas utilizadas para medirlo fue la de Romberg, en la cual, se pone a prueba el equilibrio estático en dos condiciones: ojos abiertos y cerrados; no obstante, carece de sensibilidad para detectar la conmoción debido a que es un test clínico de carácter subjetivo; por lo que no está validado en la CCRD (9). También, la prueba de organización sensorial, SOT por sus siglas en inglés (Sensory Organization Test), ha sido implementada en la evaluación postural tomando en cuenta el sistema visual, vestibular y propioceptivo; sin embargo, la literatura reporta que no es sensible para detectar cambios posturales mínimos, y que su aplicación implica gran tiempo y costo (55).

Otra prueba utilizada, es el test BESS (ANEXO 1) por sus siglas en inglés (Balance Error Scoring System); la cual, fue propuesta como una herramienta objetiva para detectar la conmoción cerebral en los días posteriores a la lesión (56). Dicho instrumento clínico, se conforma de 3 posturas diferentes que se deben llevar a cabo en dos superficies: firme e inestable. Las posturas son 1) doble apoyo, 2) apoyo unipodal, y 3) un pie adelante y uno atrás (55); las cuales se realizan en un tiempo cronometrado y con los ojos cerrados (57). Los errores cometidos durante cada evaluación se suman, dando la posibilidad de cometer 10 en cada prueba y un total de 60 en la evaluación completa. Se consideran errores: levantar las manos de la cintura, abrir los ojos, despegar el pie del suelo, pisar, tropezar o caer, abducir la cadera más de 30° y tardar más de 5 segundos para volver a la posición del test. Entre mayor número de errores exista, peor será el control postural que se tiene (58). La duración de cada una de las actividades es de 20 segundos, por lo que la aplicación toma alrededor de 10 minutos (59).

La marcha en Tándem es aplicada, al igual que la prueba BESS, en la herramienta de evaluación de la conmoción cerebral en el deporte, SCAT5 (ANEXO 2), por sus siglas en inglés (Sport Concussion Assessment Tool- 5th Edition). Consiste en caminar con un pie detrás del otro, sin despegar talón y dedos, a lo largo de una línea de 3 metros; al llegar al final de ella se debe girar 180° y volver al punto de salida. La prueba se debe llevar a cabo lo más rápido y preciso posible. Se cronometra el tiempo, buscando efectuarla en 14 segundos. La actividad se realiza 4 veces y se registra la de menor tiempo. Se cuentan como errores que el participante se sujete de algún objeto, que salga de la línea o despegue talón y dedos; en esta situación, tendrá que repetirse el ensayo (60).

Por otro lado, la prueba T ha sido empleada para evaluar el equilibrio estático en deportistas. Se trata de formar una letra "T" con el cuerpo, equilibrándose sobre un miembro inferior, llevando el otro hacia atrás, los brazos hacia adelante y la mirada al frente. El reto es mantener la posición durante 10 segundos; por lo que su calificación es: 4 puntos- si mantiene la postura, 3 puntos- si se duda ligeramente, 2 puntos- si se pierde el equilibrio varias veces, y 1 punto- si no se puede mantener en posición (61).

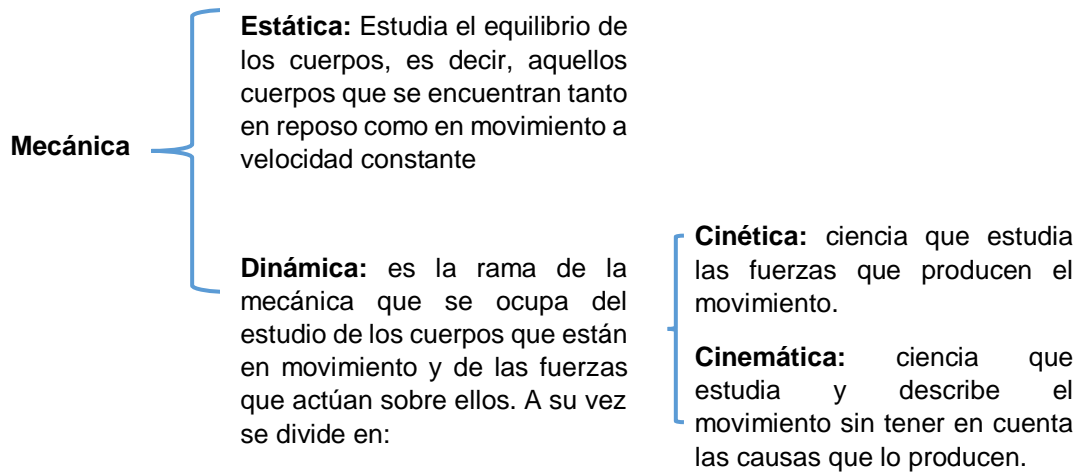
## 1.8 Boxeo

El boxeo es un deporte de combate a través de los puños. Tiene sus orígenes en el 800 A.C., sin embargo, el deporte establecido actualmente se sustenta en sus fundamentos originales. Se puede competir como boxeador profesional o amateur. En este deporte gana quien anote más puntos, los cuales se adquieren dando golpes al oponente en ciertas estructuras corporales, como la cabeza y tronco. Al ser un deporte de combate, implica ciertos riesgos para la salud o estado físico de los participantes (5).

La literatura indica que las principales lesiones ocasionadas por el boxeo se cometen en la cabeza, ocupando un porcentaje del 27.1 al 93.4% de los golpes; no obstante, la mayoría son de poca gravedad (5,62–65). El autor Zazryn menciona que la evidencia científica que existe es insuficiente para determinar los factores de riesgo que están relacionados con las lesiones en el box. Asimismo, refiere que son pocos los datos que existen sobre las lesiones agudas y sobre las consecuencias que tiene el entrenamiento, como el sparring, en los deportistas (5,66).

## 1.9 Biomecánica

La biomecánica es la disciplina que se encarga del estudio de los procesos biológicos y fisiológicos del cuerpo humano a través de la mecánica clásica. Por lo tanto, se basa en los fundamentos de la mecánica para poder explicar ciertos fenómenos. La mecánica es una rama de la física que se dedica a estudiar el movimiento de los cuerpos conforme al tiempo, los cuales se pueden encontrar en estado de reposo o movimiento. Para su estudio, se divide en otras dos ramificaciones, estática y dinámica; donde ésta última se divide a su vez en cinética y cinemática (figura 6) (12,67):



**Figura 6.** *Ramas de la mecánica y sus subdivisiones.* Modificado de Miralles-Miralles 2007.

Por lo tanto, el análisis biomecánico debe incluir éstas ramificaciones de la mecánica, para la obtención de datos, que nos permitan calcular distintas variables de los movimientos del aparato locomotor del ser humano. Uno de los fundamentos de la biomecánica son las leyes de Newton (12).

### 1.9.1 Leyes de Newton

Isaac Newton desarrolló una explicación de los fenómenos que influyen en la modificación del movimiento, la cual, ahora es la base de la mecánica clásica. Dicha explicación, está aludida en sus tres leyes (tabla 1) (12,68,69):

|   |   |
|---|---|
| <b>Primera Ley (ley de inercia de Galileo)</b>  | Un cuerpo conserva su estado de reposo o movimiento rectilíneo uniforme hasta que intervenga una fuerza que modifique la situación. En reposo, el total de las fuerzas aplicadas es igual a cero; equilibrio estático. Mientras que en movimiento, el total es diferente a cero; equilibrio dinámico. |
| <b>Segunda Ley (ley de la aceleración)</b>  | La aceleración provocada en un cuerpo por una o distintas fuerzas será proporcional a la magnitud de la fuerza.   |
| <b>Tercera Ley (principio de acción y reacción)</b>                                     | Cuando un cuerpo recibe una fuerza, éste responderá con una fuerza contraria similar (magnitud y dirección). Dichas fuerzas nunca se anulan entre sí porque se aplican a distintos cuerpos.   |
| <b>Tabla 1.</b> <i>Leyes de Newton.</i> Autoría propia. Fuente: Miralles-Miralles 2007. |   |

### 1.9.2 Análisis biomecánico tridimensional

La elaboración de un análisis biomecánico tridimensional es muy parecido a uno en 2D. Se toman las capturas de dos o más cámaras bidimensionales y se hace una recreación del movimiento original en tres dimensiones. Esto conlleva cálculos matemáticos sofisticados elaborados por los productores; sin embargo, es nuestra tarea calibrar el volumen en el que se desarrollará el movimiento, para lo cual se coloca una barra con dos marcadores en el centro del espacio a calibrar y enseguida se agita, originando que el software calcule la relación que hay entre cada cámara (70).

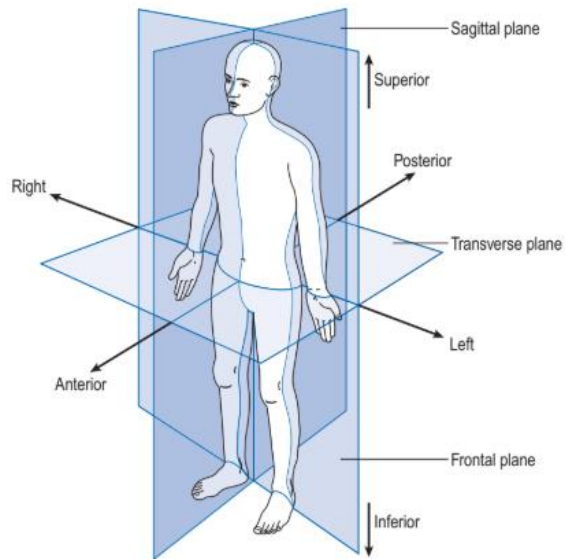
Después de haberse efectuado la calibración, es importante evitar el mínimo movimiento de cada una de las cámaras. Se cuenta con una precisión de seguimiento equivalente a  $\pm 0.1\%$  del volumen de captura. Una de las principales limitantes de este sistema es la forma en la que se obtiene el movimiento articular, es decir, colocando marcadores sobre la piel que están sujetos a desplazarse debido al tejido que subyace a la articulación (70,71).

Al contrario que en el análisis 2D, en el tridimensional es necesario emplear 3 marcadores para definir cada segmento. Los marcadores se colocan según el modelo biomecánico ya establecido, el más conocido es el Modificado por Helen Hayes (MHH, por sus siglas en inglés) (Figura 7) (70).



**Figura 7.** Figura que representa el Modelo Modificado por Helen Hayes. Tomada de Whittle 2007.

Para determinar los cambios en el movimiento, el sistema se basa en la captura de una posición neutra o posición anatómica como punto de partida (figura 8). La cual es en bipedestación, con los pies juntos, los brazos extendidos a los lados del cuerpo y las palmas de las manos hacia arriba. Las relaciones entre las distintas estructuras anatómicas se definen a través de los planos anatómicos, los cuales son: a) sagital, divide el cuerpo en derecho e izquierdo; b) frontal, secciona en anterior y posterior; y c) transversal, nos delimita en superior e inferior (70).



**Figura 8.** *Figura que representa la posición anatómica, los planos y ejes del cuerpo. Tomada de Whittley 2007.*

## Capítulo II

### 2.1 Antecedentes

La evaluación de la conmoción cerebral se lleva a cabo a través de evaluaciones neuropsicológicas, cuestionarios de síntomas y pruebas de equilibrio (57). La evaluación del equilibrio ha sido implementada desde tiempo atrás junto con el análisis de la marcha, como un indicador de alteraciones posturales en los deportistas que han sufrido conmociones. Existen diferentes investigaciones en las que se busca detectar posibles alteraciones en el equilibrio de pacientes que sufrieron conmoción cerebral a través de diferentes test o pruebas de estabilidad (1).

En 2015, Howell y colaboradores, se valieron de un acelerómetro para detectar alteraciones en el movimiento del centro de masa del cuerpo humano en pacientes que sufrieron una conmoción cerebral. Midieron la aceleración en el plano frontal/sagital durante la marcha mientras hacían una doble tarea con una actividad de Stroop; dicha tarea consistía en un juego de palabras (“alto” y “bajo”) y sonidos (en ambas tonalidades), los pacientes debían determinar el tono sin importar su congruencia con la palabra. El acelerómetro se encontraba ubicado a nivel de la quinta lumbar, unido al cuerpo a través de un cinturón elástico. Se llevó a cabo una comparación con un grupo control. Se realizaron 5 evaluaciones; para el grupo con conmoción cerebral: a las 72 horas, a la semana, a las 2 semanas, al mes y a los 2 meses después de la lesión. Mientras que para el grupo sano los intervalos de tiempo fueron similares. El grupo lesionado manifestó un pico de aceleración medial-lateral menor en el 55-75% del ciclo de la marcha en comparación con el grupo sano ( $p=0,04$ ). De igual forma, se obtuvieron niveles moderados de sensibilidad y especificidad a las 72 horas y una semana (53).

Asimismo, Coralie Rochefort en 2016, intentaba demostrar si los síntomas de equilibrio declarados por adolescentes podían ser determinantes de una alteración por conmoción cerebral. Se constituyeron 3 grupos, el primero manifestaba síntomas 1 mes después de la conmoción; el segundo no manifestó síntomas después de la conmoción cerebral, y el tercero era un grupo de sanos. Los grupos estaban conformados por 12, 20 y 30 adolescentes respectivamente. Las tareas de equilibrio se realizaron en una Wii Balance Board<sup>MR</sup> de Nintendo, con la cual se registraba el centro de presión de los pies. Las actividades consistieron en: colocar al individuo en bipedestación con ojos abiertos, bipedestación con ojos cerrados y una tercera en bipedestación mientras se completaba una doble tarea de palabras de Stroop. En esta investigación se encontró que ambos grupos con conmoción cerebral (con y sin manifestación de síntomas) presentaban diferencias significativas en el área en que se balancearon (más grande), con respecto al grupo de sanos en las



tareas de ojos cerrados y doble tarea. De la misma manera, la velocidad medio-lateral de balanceo era mayor en la doble tarea para los mismos grupos. Por su parte, el grupo de estudio que no refirió síntomas, presentó un área de balanceo más grande que los sanos en la condición de ojos abiertos. Rochefort y participantes concluyen que los síntomas auto informados a un mes de una conmoción cerebral no son un factor relevante para determinar su presencia (72).

Otro estudio similar fue el de Massingale, quien, en 2018, realizó un trabajo retrospectivo donde se analizaron los resultados de atletas valorados con la técnica de COBALT empleando una plataforma de fuerza para medir la velocidad de balanceo en las diferentes actividades posturales de la prueba. Se compararon 2 grupos, el primero conformado por 132 atletas sanos y el segundo por 106 con conmoción cerebral. El estudio constó de 2 evaluaciones, una previa a la competencia y una posterior. Los resultados arrojaron que todos los pacientes control pudieron completar la evaluación, mientras que en el grupo de estudio sólo el 55 por ciento la completó. De la misma manera, el grupo con conmoción cerebral tuvo una mayor velocidad de balanceo en 2 condiciones de la prueba en comparación con los sanos (73).

Igualmente, Lynall en el año anterior (2018), realizó un estudio transversal donde buscaba identificar los déficits en el equilibrio dinámico a través de la evaluación de la marcha en tándem en atletas con conmoción cerebral reciente en comparación con un grupo control. Ambos grupos están conformados por 15 participantes cada uno, se evaluaron 4 condiciones: 1) marcha en tándem, 2) marcha en tándem con ojos cerrados. 3) marcha en tándem con doble tarea y ojos abiertos, 4) marcha en tándem con doble tarea y ojos cerrados. La doble tarea consistió en una actividad cognitiva, donde los participantes tenían que memorizar una cuadrícula con dígitos del 1-8 y después repetirlos sin ver la cuadrícula. Se empleó una pasarela especializada (The Zeno™ Walkway) para detectar los centros de presión durante la marcha; se calculó la velocidad, longitud de trayectoria y el costo de la doble tarea. Como resultados obtuvieron que el grupo de pacientes lesionados presentó una menor velocidad durante la marcha en tándem en comparación con los controles. Asimismo, tuvieron un mayor costo de doble tarea en la condición 4 de la prueba (74).

## 2.2 Planteamiento del problema

La CCRD tiene una incidencia de 1.6 a 3.8 millones cada año en los Estados Unidos de América, según los Centros para el Control y Prevención de Enfermedades (CDC, por sus siglas en inglés); lo cual equivale al 5-9% de todas las lesiones originadas en el deporte (2,3). Asimismo, Harmon y colaboradores en 2013, mencionan que las tasas de lesión registradas por año van en aumento; lo cual probablemente se deba a que actualmente existe más conciencia sobre esta lesión cerebral traumática y por ende, mayor interés para identificarla (2).

En México, es poca la investigación que se ha llevado a cabo en esta línea, por lo tanto, no existen tasas de lesión cerebral traumática relacionada con el deporte. De acuerdo con la Agencia Informativa CONACYT (2016), no se han llevado a cabo programas de investigación y/o evaluación ni en estancias públicas ni en privadas. Sin embargo, es el doctor Ortiz Ramírez quien en 2016 lleva a cabo un estudio donde pone a prueba la herramienta SCAT2 (Sport Concussion Assessment Tool-2nd Edition) para detectar la conmoción cerebral en jugadores mexicanos de fútbol soccer (4).

La relevancia de la detección de la conmoción cerebral se debe a que es una lesión heterogénea que puede tener distintas afecciones en cada persona; por lo tanto, pese a que se han propuesto distintas formas de evaluación, puede ser difícil proporcionar un diagnóstico y tratamiento idóneo, así como determinar el momento correcto para volver a la actividad competitiva. Al ser una lesión cerebral traumática leve puede tener consecuencias graves tanto a corto como a largo plazo, causando incluso la muerte (1).

No obstante, las herramientas de detección que existen en la actualidad son poco objetivas y los estudios de imagen tradicionales no son sensibles para detectar la conmoción cerebral (6,8); mientras que estudios más específicos implican altos costos (34).

Por lo anterior, es muy importante encontrar una herramienta de evaluación objetiva confiable, que nos permita detectar y relacionar alteraciones presentes en el equilibrio de deportistas de combate con una conmoción cerebral; y así poder tener las pautas necesarias para tomar decisiones correctas en el entrenamiento o técnica deportiva. De igual forma, éste instrumento clínico ayudará a que se proporcione un mejor manejo de la lesión. Es así como surge la siguiente pregunta de investigación.

## 2.3 Pregunta de investigación

¿El análisis biomecánico de las pruebas BESS, Marcha en Tándem y Prueba T arrojará variables cinéticas y cinemáticas que se correlacionen con alteraciones del equilibrio en atletas de combate con riesgo de conmoción cerebral?

## 2.4 Justificación

Como menciona el coautor de la Declaración del Consenso de la Conmoción en el Deporte (DCCD), Charles Tator (2013), las manifestaciones neurológicas después de una CCRD son poco focales y difíciles de detectar (6). Además, no existe un biomarcador en el cerebro que indique la presencia de una conmoción y los estudios de imagen tienen baja precisión para el diagnóstico en virtud a que se presenta una alteración funcional y no estructural (6–8). Por ende, el diagnóstico de una conmoción cerebral se basa principalmente en una exploración clínica, tomando en cuenta los signos y síntomas presentes (6).

Entre las principales alteraciones causadas por el trauma cerebral, se encuentra la capacidad de mantenerse sobre los pies, es decir, el equilibrio (1,54). El equilibrio ha sido referido durante años como un indicador de la severidad de la lesión, debido a que es uno de los signos clínicos que más se puede cuantificar. Es así como se han empleado pruebas de estabilidad postural estáticas y dinámicas, tales como la marcha; ya que ésta última es un hito motor muy complejo que conlleva un proceso de coordinación y control postural desarrollado (1).

De esta manera, Cavanaugh (2006) menciona que la recuperación de un buen control postural es un factor que establece el momento idóneo para que el deportista regrese a su actividad competitiva sin riesgos a alteraciones posteriores (75).

A pesar que desde hace años se evalúa el equilibrio en la CCRD, las pruebas clínicas siguen siendo poco sensibles debido a que se basan en el criterio del clínico evaluador. Un ejemplo de esto es el Sistema de Puntuación de Error de Equilibrio, BESS, test empleado tradicionalmente y sugerido por el Grupo de Conmoción en el Deporte (2017) para la evaluación postraumática. En 2016 Buckley menciona que la sensibilidad es baja una semana después de la lesión (9).

Por este motivo, la implementación de una batería de pruebas de estabilidad, evaluada a través de un análisis biomecánico tridimensional, nos permitirá obtener variables cuantificables que nos indiquen la presencia de una alteración causada por una conmoción o golpes repetitivos en el deporte de contacto.

## **2.5 Objetivo general**

Determinar las variables cinéticas y cinemáticas que se correlacionan con las alteraciones del equilibrio presentes en atletas de combate con riesgo de conmoción cerebral y un grupo control a través del análisis biomecánico.

### **2.5.1 Objetivos específicos**

- Realizar el análisis biomecánico tridimensional de la Prueba BESS, Marcha en Tándem y Prueba T.
- Correlacionar los resultados de la evaluación clínica y la historia del deporte con el análisis biomecánico tridimensional que puedan resultar biomarcadores de severidad.

## **2.6 Hipótesis**

H<sub>0</sub>: El análisis biomecánico de la Prueba BESS, Marcha en Tándem y Prueba T, no nos proporcionará variables cinéticas y cinemáticas que se correlacionen con las alteraciones provocadas por la conmoción cerebral en atletas de combate.

H<sub>1</sub>: El análisis biomecánico de la Prueba BESS, Marcha en Tándem y Prueba T, nos proporcionará variables cinéticas y cinemáticas que se correlacionen con las alteraciones provocadas por la conmoción cerebral en atletas de combate.

## **Capítulo III**

### **Metodología**

#### **3.1 Tipo de estudio y diseño**

El diseño del estudio es no experimental, porque no se modifican las variables independientes; transversal, debido a que se realiza una sola medición; y descriptivo observacional, ya que no se interviene en las variables y sólo se describen.

#### **3.2 Universo del estudio**

La población del estudio está conformada por atletas que acudieron a la convocatoria del Laboratorio Universitario de Biomecánica, UNAM Campus Juriquilla y que cumplieron con los criterios de inclusión. Estructura en dos grupos: a) Grupo de estudio, atletas en deportes de contacto o combate; b) Grupo control, atletas en deportes sin contacto o combate; todos con consentimiento informado.

#### **3.3 Características de la muestra**

Pacientes adultos que realicen actividad física o deporte con y sin riesgo de lesiones cerebrales traumáticas leves y que cumplieron con los criterios de selección preestablecidos. Se registró un ingreso de 32 sujetos al Laboratorio de Biomecánica, de los cuales 13 conformaban el grupo de estudio y 19 el grupo control; sin embargo, después de aplicar dichos criterios, quedaron 11 y 15 participantes respectivamente.

#### **3.4. Definición del grupo de estudio**

##### **3.4.1 Criterios de inclusión**

- Practicar deporte de combate (boxeo y sus variantes).
- Tener entre 18 y 40 años.
- Sexo indistinto.

- Práctica del deporte por más de un año.
- Frecuencia de entrenamiento de 3 o más veces por semana.
- Estar en actividad competitiva constante.
- Realizar entrenamiento con sparring.

### **3.4.2 Criterios de exclusión**

- Presencia de hospitalización por trauma cerebral reciente (últimos 6 meses).
- Presencia de signos o síntomas de trastornos vestibulares (mareos, vértigo, náuseas, pérdida del equilibrio, entre otras).
- Lesiones musculoesqueléticas recientes (últimos 6 meses): esguinces, fracturas, desgarres.

### **3.4.3 Criterios de eliminación**

- Historias clínicas incompletas o datos ambiguos.
- Capturas fallidas que no se puedan analizar.

## **3.5 Definición del grupo control**

### **3.5.1 Criterios de inclusión**

- Practicar actividad física o deporte sin contacto.
- Tener entre 18 y 40 años.
- Sexo indistinto.
- Frecuencia de entrenamiento de 3 o más veces por semana.

### **3.5.2 Criterios de exclusión**

- Presencia de hospitalización por trauma cerebral reciente (últimos 6 meses).
- Presencia de signos o síntomas de trastornos vestibulares (mareos, vértigo, náuseas, pérdida del equilibrio, entre otras).
- Lesiones musculoesqueléticas recientes (últimos 6 meses): esguinces, fracturas, desgarres.

### **3.5.3 Criterios de eliminación**

- Historias clínicas incompletas o datos ambiguos.
- Capturas fallidas que no se puedan analizar.

### 3.6 Metodología para la obtención de datos

- Obtención de la muestra

Se realizó una convocatoria de participación en la investigación, enviada al Comité de Box en Querétaro. De igual manera, se hizo una invitación personal en ciertos gimnasios y estudios de box, así como en el gimnasio del campus Juriquilla. Acudieron jóvenes entre 18 y 40 años que realizan deporte sin contacto, para el grupo control; y jóvenes con deporte de contacto, específicamente box y algunas modalidades de boxeo.

- Aplicación del consentimiento informado e historia clínica

Una vez que acudieron los participantes y aceptaron, se les solicitó firmar un consentimiento informado (ANEXO 3) donde se les daba una breve introducción sobre el estudio, se daba a conocer el objetivo principal y los principales beneficios que obtendrían al participar de él. Del mismo modo, se explicaba cuál era el método de obtención de datos, las características con las que se llevaría a cabo el estudio y los principales riesgos que se podían presentar, los cuales eran de menor carácter.

Se les aplicó una Historia Clínica (ANEXO 4) para determinar si eran candidatos a participar en el estudio; en la cual, se les hacía un pequeño interrogatorio sobre sus datos personales, sus antecedentes personales no patológicos, sus antecedentes personales patológicos y sus antecedentes patológico familiares. Asimismo, se les hizo un cuestionario especial sobre la historia del deporte: deporte, clasificación, indumentaria, entrenamiento, competencias, lista de signos y síntomas actuales y relacionados con la actividad física; así como cualquier tipo de alteración que se haya presentado por el mismo. Enseguida se tomaron los signos vitales, y de encontrarse dentro de los parámetros normales, se comenzaba con la aplicación del estudio.

- Laboratorio Universitario de Biomecánica

El Laboratorio Universitario de Biomecánica cuenta con un sistema de captura de movimiento Smart DX™ de BTS BIOENGINEERING™, modelo 7000; el cual, está conformado por 11 cámaras de luz infrarroja que muestrean a 250Hz distribuidas alrededor del cubículo. Se cuenta asimismo, con dos cámaras de video convencionales, que dan las vistas: lateral y antero-posterior; y dos plataformas de fuerza al centro de las pasarelas. El sistema de captura, tiene una precisión < 0,1mm en 6x6x3m y una resolución de 4Mpixeles.

- Colocación de los marcadores

Se realizó un modelo biomecánico especial para esta investigación, donde se empleaban marcadores para todo el cuerpo, sumando un total de 41. Se le pidió al paciente que vistiera únicamente short o licra y top (en caso de ser mujer) para evitar el desplazamiento de los mismos. Cabe mencionar, que los marcadores están hechos de pequeñas esferas o botones creados en impresora 3D y cubiertos con tela reflectante. Los botones se pegaron al cuerpo a través de cinta adhesiva doble cara y cinta transpore 3M®. Se ubicaron en las siguientes estructuras anatómicas: cabeza del 5° metatarsiano, maléolo externo, calcáneo, cabeza del peroné, cóndilo femoral lateral, trocánter mayor del fémur, espina iliaca anterosuperior, sacro (S2); además, se colocó una barra a mitad del muslo y una a mitad de la pierna, dando un total de 19 marcadores para el miembro inferior (figura 9). Para el tronco (figura 10) y cabeza: se colocó uno en el manubrio del esternón, en C7, uno a cada lado de C7 dos vértebras más abajo (formando un triángulo); y T8 y sus respectivos dos por debajo (formando otro triángulo). En la cabeza se colocaron 3, uno para el ápice y dos por encima de las orejas (izquierda y derecha). En cuanto a los miembros superiores (figura 11), la distribución fue: acromion, epicóndilo externo, apófisis estiloides radial y cubital; además de una barra a medio brazo y antebrazo.



**Figura 9.** Colocación de marcadores en miembros inferiores. Fuente directa. Laboratorio Universitario de Biomecánica.



**Figura 10.** Colocación de marcadores en tronco, cara posterior. Fuente directa. Laboratorio Universitario de Biomecánica.





**Figura 11.** *Colocación de marcadores en miembros superiores.* Fuente directa. Laboratorio Universitario de Biomecánica.

- Toma de capturas

Las capturas se tomaron a través del software Smart Capture™ del sistema BTS BIO ENGINEERING™. Los marcadores colocados a los sujetos reflejan la luz infrarroja para que sea capturada por las cámaras. Para la primera toma, denominada “Bipedestación” (BP), se les solicitó a los pacientes que se colocarán en posición anatómica al centro de las pasarelas, sobre las plataformas de fuerza; pies juntos, brazos a los costados con codos extendidos y palmas hacia arriba (figura 12). Enseguida, se llevaron a cabo las pruebas de equilibrio: BESS, Prueba T y Marcha en Tándem. Cabe mencionar, que además del análisis biomecánico de las tres pruebas, se hizo una evaluación clínica (ANEXO 5).



**Figura 12.** “Bipedestación”.  
Fuente directa. Laboratorio  
Universitario de  
Biomecánica.

- Prueba BESS

Dicha prueba consiste en 3 condiciones que se realizan en 2 superficies diferentes, dando un total de 6 ensayos (tabla 2): 3 en superficie estable (sobre el suelo) y 3 en inestable (sobre una colchoneta). La colchoneta está compuesta de planchas de poliuretano con funda de lona plastificada de 1,5 x 2m. La nomenclatura empleada en el sistema para las capturas fue: BPF (bipedestación firme), BPI (bipedestación inestable), UPF (unipodal firme), UPI (unipodal inestable), PTF (postura en tándem firme), PTI (postura en tándem inestable). Cada prueba tiene una duración de 20s manteniendo la postura; sin embargo, con fines del registro, se capturaron 10 segundos antes y 10 segundos después de la prueba en posición neutra.

**Bipodal Firme:**

Se les pidió a los individuos mantenerse erectos, con pies juntos, manos en la cintura y ojos cerrados.



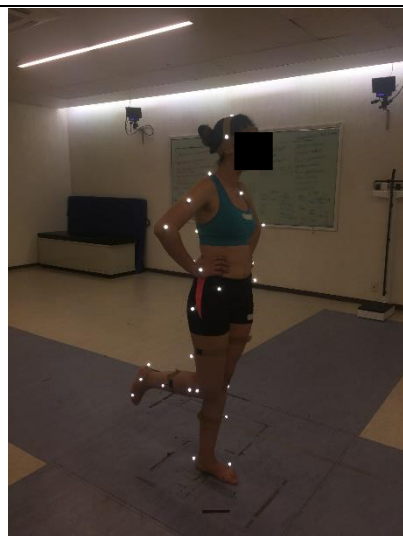
**Bipodal Inestable:**

Posición anterior, sobre la colchoneta.



**Unipodal Firme:**

La indicación fue pararse sobre su pie no dominante, el dominante va con la rodilla flexionada 90° y cadera neutra. Manos en la cintura y ojos cerrados.



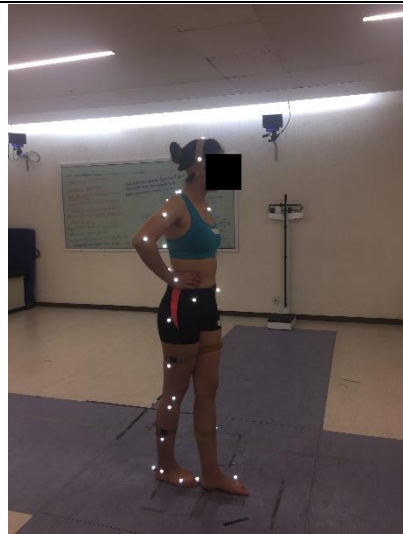
Unipodal Inestable:

Posición anterior, sobre la colchoneta.



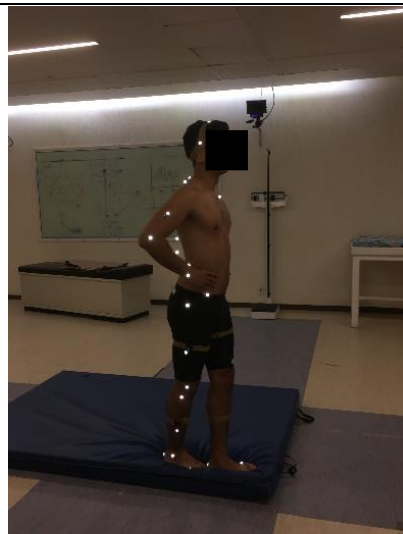
Postura en Tándem Firme:

El pie no dominante va adelante, chocando el talón con los dedos. Manos en la cintura y ojos cerrados.



Postura en Tándem Inestable:

Postura anterior, sobre la superficie inestable.

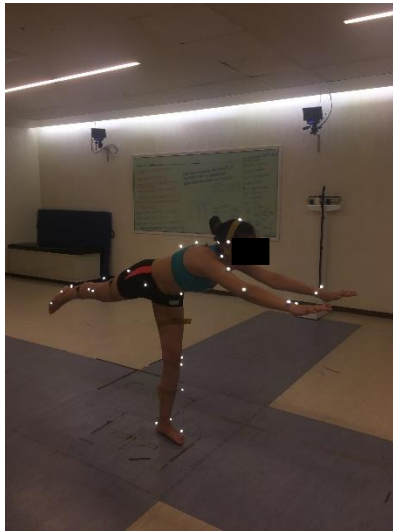


**Tabla 2.** *Condiciones de prueba BESS.* Basada en Manual de BESS. Fotografías tomadas en Laboratorio Universitario de Biomecánica.

Por cada prueba, el participante puede tener de 0 a 10 errores, si excede este número, el ensayo se repite. Por lo tanto, al final de todas, no se deben de exceder las 60 fallas. Se consideran como errores los siguientes: a) abrir los ojos, b) levantar las manos de las caderas, c) pisar, tropezar o caer de la posición de prueba, e) levantar el antepié o el talón, f) abducir la cadera en  $> 30^\circ$ , g) demorar  $> 5$  segundos para volver a posición de prueba.

- Prueba T

Se le pidió al participante que se mantuviera sobre su pie no dominante, mientras que elevaba el miembro inferior contrario, formando una "T" con su cuerpo. Los brazos extendidos hacia adelante y mirada al frente. Esta prueba tiene una duración de 10 segundos, por lo que para fines del rastreo, se tomaron 10 segundos antes y 10 segundos después, dando un total de 30 segundos. Clínicamente, se evaluó de la siguiente manera (tabla 3):

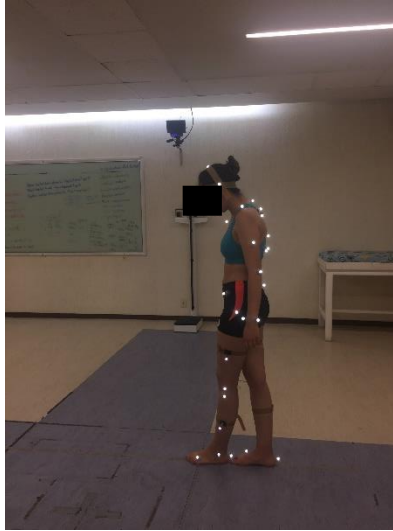


**Figura 13.** *Prueba T.* Fuente directa. Laboratorio Universitario de Biomecánica.

| Calificación de Prueba "T" de equilibrio   |          |
|--|----------|
| Mantener la posición durante los 10 segundos.  | 4 puntos |
| Dudar ligeramente.   | 3 puntos |
| Pierde el equilibrio más de una vez.   | 2 puntos |
| No ser capaz de mantener el equilibrio en ningún momento.                                    | 1 punto  |
| <b>Tabla 3.</b> Calificación de Prueba "T" de equilibrio. Tomada de Fernández, J. T. (2014). |          |

- Marcha en Tándem

Para la Marcha en Tándem, abreviada MAHTA, se le pidió al participante que se colocara en posición bípeda, con pies juntos, detrás de una línea blanca; la cual tenía una longitud de 3 metros. Se capturaban 10 segundos en dicha posición, y cuando se le daba la indicación el comenzaba a avanzar sobre la línea con el pie derecho. La prueba consistió en que caminara lo más rápido y preciso posible sobre la línea (figura 14), sin despegar talón y dedos, y sin salir de la línea. Al llegar al final de la misma, se giraba y se regresaba al inicio. Al finalizar, cuando sus dos pies quedaban alineados fuera de la línea, se daba por terminada la prueba. Se mantenía la posición final durante diez segundos. La evaluación clínica consiste en que deben realizar la actividad en menos de 14 segundos, y la prueba se repite 4 veces para tomar la del mejor tiempo.



**Figura 14.** *Marcha en Tándem.* Fuente directa. Laboratorio Universitario de Biomecánica.

- Toma de medidas antropométricas

Al finalizar las pruebas, se llevó a cabo la toma de medidas antropométricas (ANEXO 5); donde con la ayuda de un plicómetro, una cinta métrica y una báscula, se tomaron las siguientes medidas: ancho de cabeza, ancho de hombros, profundidad de hombros, ancho de codos, ancho de muñecas, ancho de caderas, profundidad de caderas, ancho de rodillas, ancho de tobillos, longitud de miembros inferiores, longitud de miembros superiores, longitud de brazos y antebrazos; talla y peso.

- Posprocesamiento de las tomas

Las 12 tomas se rastrearon con el programa Smart Tracker™, de BTS Bioengineering™. El rastreo consiste en asignarle un nombre a cada marcador conforme al modelo biomecánico, para poder reconstruir el cuerpo y así continuar con el siguiente paso, el análisis. Se debe rastrear frame por frame de cada toma, evitando perder la menor información posible.

- Análisis de las capturas

El análisis de las capturas, se realizó a través de Smart Analyzer™ de BTS Bioengineering™, donde se creó y automatizó un protocolo de análisis distinto para cada prueba.

### 3.7 Ética del estudio

La presente investigación, se basa en los principios éticos que establece **la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud**; en los cuales, se regula la investigación biomédica. Estableciendo en su **artículo 13**: “en toda investigación en la que el ser humano sea sujeto de estudio, deberá prevalecer el criterio del respeto a su dignidad y la protección de sus derechos y bienestar”. Asimismo, se respetan los principios decretados en el **artículo 14**, donde además de constar con una justificación para realizar dicho estudio, cumplir con el criterio de ser aplicado por profesionales de la salud; se acepta la participación a través del consentimiento informado.

De igual forma, el **Código de Núremberg**, fue el primero que mencionó la importancia del consentimiento informado: “es absolutamente esencial el consentimiento informado del sujeto humano”; por lo que los voluntarios pudieron decidir ser partícipes o no en el estudio, firmando el mismo (ANEXO 3) en caso de estar de acuerdo.

Por otro lado, en apego a la **Declaración de Helsinki**, se buscó en todo momento el bienestar del paciente, por sobre la investigación científica. Buscando todo el tiempo proteger la dignidad, la integridad, la confidencialidad, la autonomía y la autodeterminación de los participantes en la investigación.



## Capítulo IV

### Análisis estadístico

El análisis de datos se realizó con el programa SPSS® Statistics versión 20.0, con el que se obtuvo la estadística descriptiva de las variables. Posteriormente, se hizo la prueba de normalidad de Shapiro Wilk, debido a que son muestras pequeñas (<50). De aquí, resultaron variables con distribución normal, a las que se les aplicó estadística paramétrica (Prueba t para variables independientes); y otras con distribución anormal, a las que se les aplicó estadística no paramétrica (Prueba U de Mann-Whitney) con un límite de confianza de  $p \leq 0.05$  para ambas.

Finalmente, se calculó el coeficiente de correlación de Pearson para determinar la relación de los puntajes clínicos y variables espaciotemporales de las pruebas BESS, Marcha en Tándem y Prueba T, con los años de entrenamiento en el grupo de estudio con una significancia de  $p \leq 0.05$ .

## Capítulo V

### Resultados

Se contó con una muestra total de 26 sujetos (n=26), de los cuales, 11 fueron pacientes estudio (10 hombres, 1 mujer) y 15 fueron controles (2 hombres, 13 mujeres). Se le hizo prueba de normalidad de Shapiro Wilk a las variables demográficas (género, edad, peso, talla), en las que se encontró que género y edad provienen de una distribución normal; por el contrario, peso y talla provienen de una distribución anormal (Tabla 4).

| Grupo        | Control     | Estudio     |
|--------------|-------------|-------------|
| Género (M/F) | 2M/13F*     | 10M/1F*     |
| Edad (Años)  | 25.1 (5.1)* | 24.2 (6.0)* |
| Peso (Kg)    | 62.4 (8.7)  | 70.7 (12.8) |
| Talla (cm)   | 167 (6.7)   | 169 (8.0)   |

**Tabla 4.** Variables demográficas. M= Masculino F= Femenino. Shapiro Wilk \*  $p \leq 0.05$

A continuación, se aplicó Prueba t para la igualdad de medias y Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes, de las cuales se obtuvo diferencia estadísticamente significativa ( $p \leq 0.05$ ) en sexo y peso (Tabla 5).

| Prueba t para la igualdad de medias |        |    |                  |
|-------------------------------------|--------|----|------------------|
|                                     | T      | Gl | Sig. (bilateral) |
| Sexo                                | -2.152 | 24 | 0.042*           |
| Edad                                | 0.334  | 24 | 0.741            |

| Prueba U de Mann-Whitney de muestras independientes |                   |
|---|-------------------|
|   | Sig.              |
| Peso  | .0471*            |
| Talla   | .330 <sup>1</sup> |

**Tabla 5.** Aplicación de pruebas estadísticas a variables demográficas. \* Diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ )

En cuanto a los resultados clínicos de las pruebas aplicadas, se evaluó el puntaje de prueba BESS considerando que a mayor puntaje, existe un deficiente control postural. La prueba T se midió con una escala del 1 al 4, siendo 4 la mejor calificación. Y la marcha en Tándem se evaluó tomando en cuenta que entre menor fuera el tiempo empleado, mejor estabilidad había. Se les sacó equivalencia

en porcentaje (100%) tomando en cuenta las mismas consideraciones. Posteriormente, se le hizo prueba de normalidad de Shapiro Wilk a estas variables, y se obtuvo que provienen de una distribución normal ( $p \leq 0.05$ ); por lo que se aplicó la Prueba t para la igualdad de medias. Finalmente, se adquirió como resultado que, existen diferencias significativas en los puntajes de prueba BESS y Marcha en Tándem (Tabla 6).

|                       | Prueba t para la igualdad de medias |       |            |        |        |    |                  |
|-----------------------|-------------------------------------|-------|------------|--------|--------|----|------------------|
|                       | Control                             | %     | Estudio    | %      | T      | GI | Sig. (bilateral) |
| Puntaje BESS          | 7.5 (4.6)                           | 12.5% | 13.2 (4.7) | 22%    | -3.247 | 24 | <b>0.003*</b>    |
| Puntaje Prueba T      | 3.7 (0.4)                           | 92.5% | 3.5 (0.6)  | 87.5%  | 1.177  | 24 | 0.251            |
| Tiempo MAHTA (s)      | 13 (1.7)                            | 92.8% | 15.8 (2.6) | 112.8% | -3.196 | 23 | <b>0.004*</b>    |
| Años de entrenamiento | NA                                  |       | 6.4 (3.8)  |        |        |    |                  |

**Tabla 6.** Estadística de variables clínicas. \*Diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ )

Se sacó el coeficiente de correlación de Pearson, para determinar si existía relación entre los puntajes clínicos y los años de entrenamiento de los boxeadores. Se obtuvo, que ningún puntaje muestra relación significativa (tabla 7).

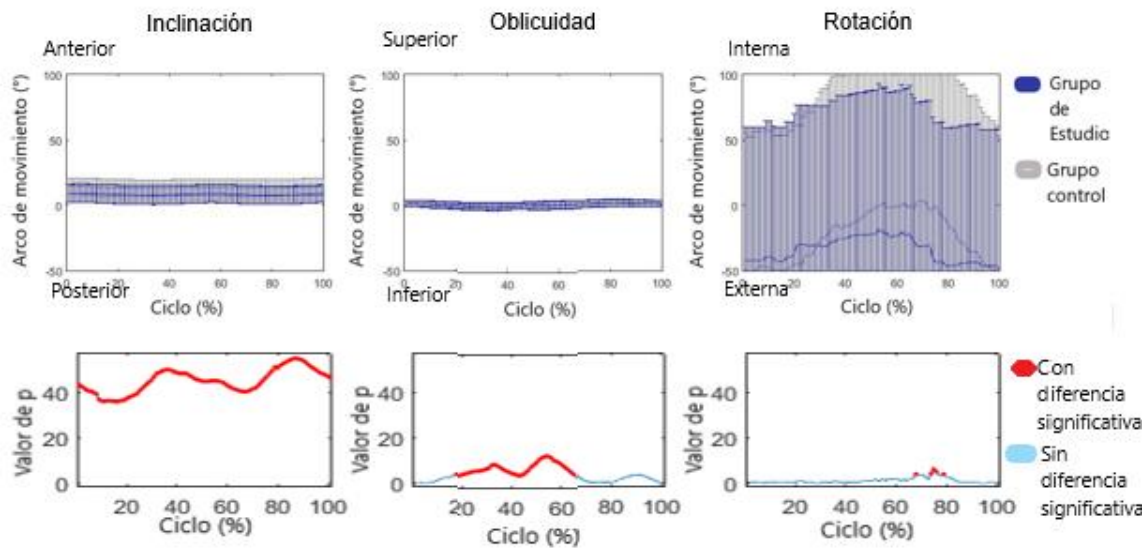
|                                     | Valor $r_{x,y}$ | Sig.  |
|-------------------------------------|-----------------|-------|
| Años de entrenamiento- Puntaje BESS | -0.061          | 0.858 |
| Años de entrenamiento- MAHTA        | 0.176           | 0.604 |
| Años de entrenamiento- PT           | 0.135           | 0.692 |

**Tabla 7.** Correlación de Pearson (puntajes clínicos-con años de entrenamiento). \*Significancia  $p \leq 0.05$ .

En las variables cinemáticas de las pruebas BESS, Marcha en Tándem (MAHTA), y Prueba T (PT), se encontraron diferencias principalmente en los arcos de movimiento de las dos últimas; por lo que, a continuación, se muestran las gráficas de mayor relevancia:

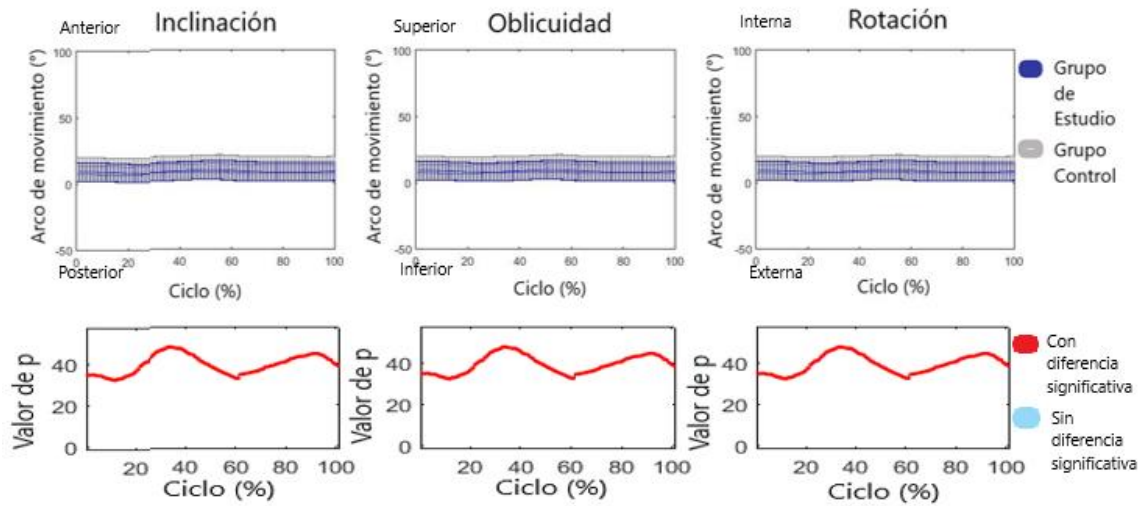
- Marcha en Tándem

En la *figura 15* se muestra la comparación de los movimientos de la pelvis derecha (inclinación, oblicuidad y rotación) entre el grupo de estudio y el grupo control. Se observa que, existe diferencia significativa entre ambos en la inclinación pélvica durante todo el ciclo de la marcha. También hay diferencia en la oblicuidad y rotación, en los porcentajes del 18-65% y 70-80%, respectivamente.



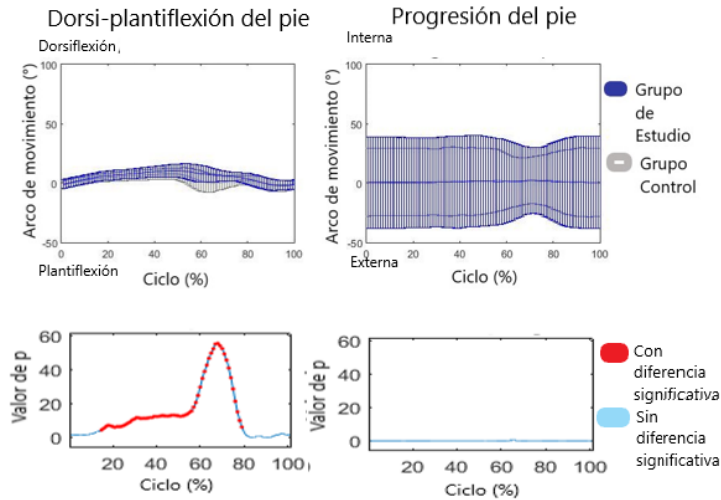
**Figura 15.** Movimientos de la pelvis (lado derecho). En las tres gráficas superiores se muestran los movimientos de inclinación, oblicuidad y rotación de la pelvis derecha durante el ciclo de la marcha en tándem (0-100%). En azul el grupo de estudio y en gris el grupo control. En las tres gráficas inferiores, se muestra en color rojo el porcentaje de la marcha que presenta diferencia significativa y en azul cielo el porcentaje que no presenta diferencia significativa.

De igual forma, en la *figura 16*, se muestran los movimientos de la pelvis izquierda (inclinación, oblicuidad y rotación); donde se observa que existe diferencia significativa entre el grupo control y el grupo de estudio en el 100% del ciclo de la marcha en tándem, en todos los movimientos.



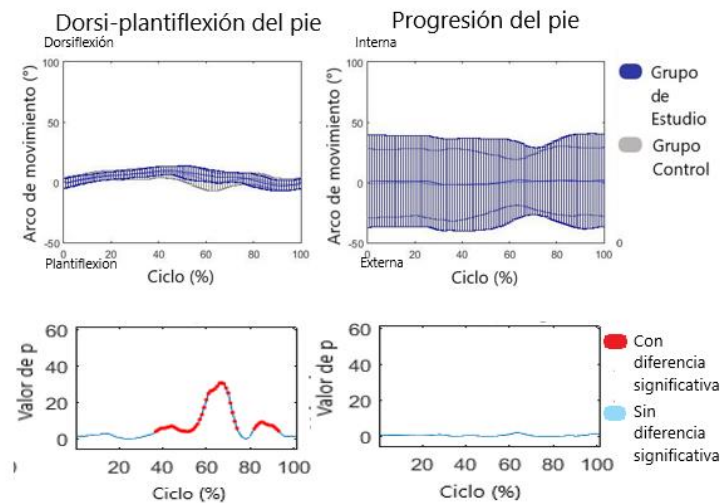
**Figura 16.** Movimientos de la pelvis (lado izquierdo). En las tres gráficas superiores se representan los movimientos de inclinación oblicuidad y rotación de la pelvis durante el ciclo de la marcha en tándem (0-100%). En azul el grupo de estudio y en gris el grupo control. En las gráficas inferiores, se muestra en color rojo el porcentaje de la marcha que presenta diferencia significativa, y en azul cielo el porcentaje que no presenta diferencia significativa.

En la *figura 17*, se muestra el apoyo y la progresión del pie derecho, encontrándose diferencia significativa en el 20 al 80% del apoyo. En contraste, en la progresión del pie, no existe diferencia significativa entre el grupo control y el grupo de estudio.



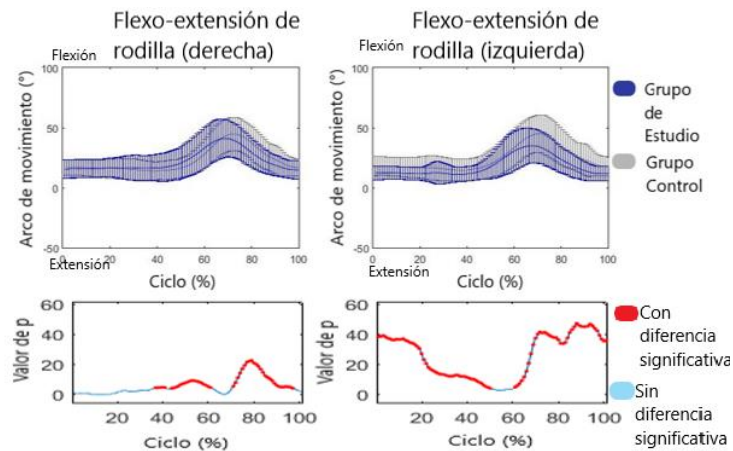
**Figura 17.** Movimientos del pie derecho. En las gráficas superiores se muestran los movimientos del pie, comparando el grupo control (azul) y el grupo de estudio (gris). En las gráficas inferiores se representa con rojo los momentos del ciclo donde existe diferencia significativa.

Al igual que en las gráficas anteriores, en la *figura 18*, se representan los movimientos del pie izquierdo. Se puede apreciar que sólo existe diferencia significativa en el apoyo del pie, del 40 al 90% del ciclo.



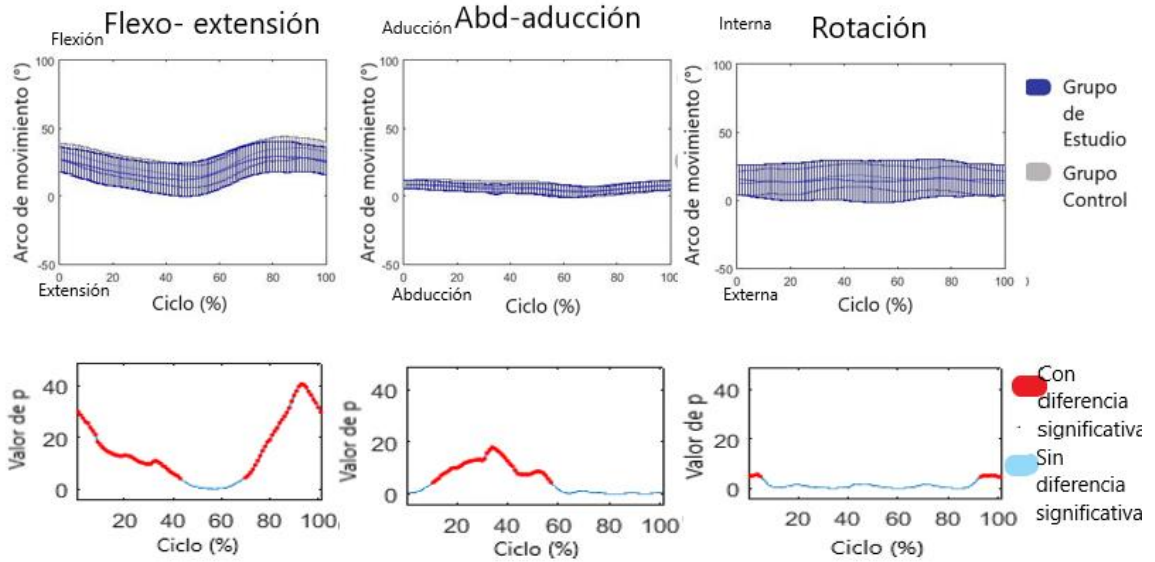
**Figura 18.** Movimientos del pie izquierdo. En las gráficas superiores se muestran los movimientos del pie, comparando el grupo control (azul) y el grupo de estudio (gris). En las gráficas inferiores se representa con rojo los momentos del ciclo donde existe diferencia significativa.

Por su parte, los movimientos de flexión en ambas rodillas (figura 19), presentan diferencias significativas entre los dos grupos (control y estudio). En la rodilla derecha, la diferencia se encuentra del 40 a 60% y del 70 al 95% del ciclo de la marcha en tándem. Mientras que, en la rodilla izquierda existe diferencia casi el ciclo completo, siendo únicamente del 50 al 60% donde la diferencia no es significativa.

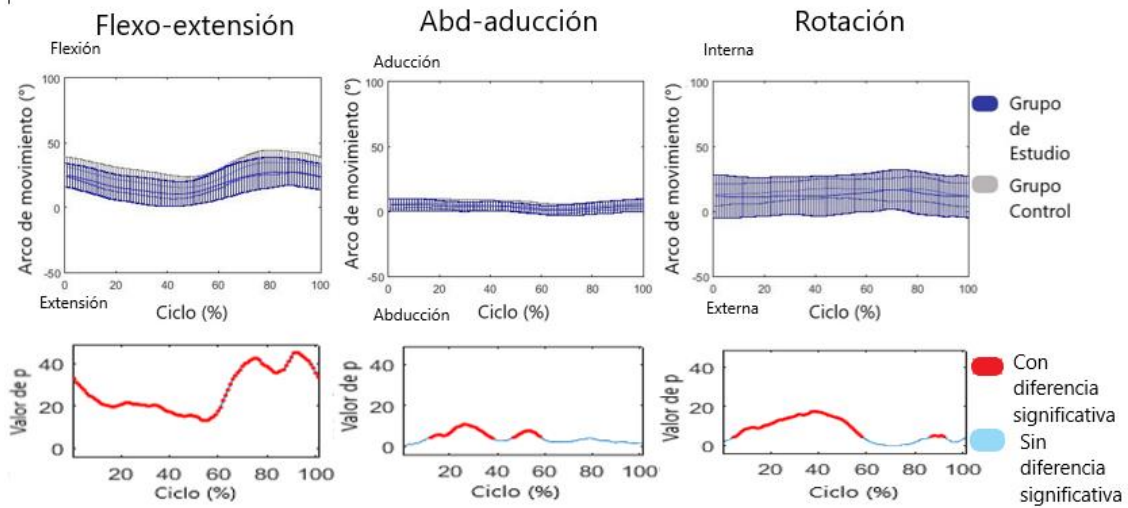


**Figura 19.** Movimientos de la rodilla. La gráfica superior izquierda representa el movimiento de flexión de la rodilla derecha; mientras que la superior derecha, representa la flexión de la rodilla izquierda. Se comparan grupo de estudio en color azul y grupo control en color gris. En las dos gráficas inferiores, se muestra la diferencia significativa entre los grupos en color rojo.

Finalmente, los movimientos de cadera, se representan en las *figuras 20 y 21* (derecha e izquierda respectivamente). En la cadera derecha, se encuentra que existe diferencia significativa en los movimientos de flexión-extensión, abducción-aducción y rotaciones; encontrándose ésta de la siguiente manera: 1) 0-45% y 70-100% en la flexión-extensión, 2) del 10 al 60% en el movimiento de abducción-aducción, y 3) 0-5% y 90-100% del ciclo en las rotaciones. Asimismo, en la cadera izquierda, hay diferencia significativa en los tres movimientos. Para la flexión- extensión durante el 100% del ciclo, en la abducción-aducción del 10-40 y 45-60%; y para las rotaciones, la diferencia se encuentra del 0-60% y 85-90%.



**Figura 20.** Movimientos de cadera (derecha). En las gráficas superiores, se representan los movimientos de flexión, abducción y rotación de la cadera derecha. El grupo de estudio se representa con color azul y el grupo control con gris. Las gráficas inferiores muestran la diferencia significativa entre ambos grupos, presentada con color rojo.

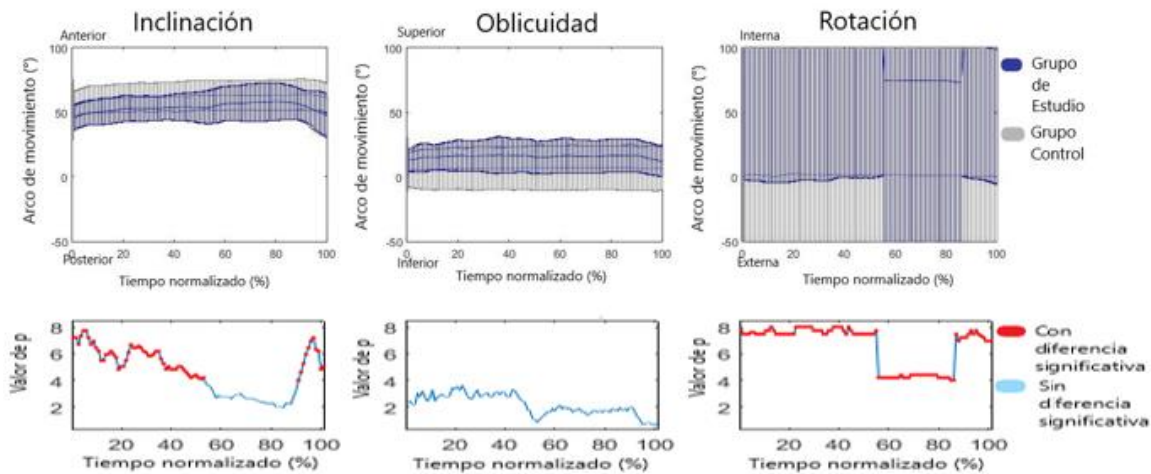


**Figura 21.** Movimientos de cadera (izquierda). En las gráficas superiores, se representan los movimientos de flexión, abducción y rotación de la cadera izquierda. El grupo de estudio se representa con color azul y el grupo control con gris. Las gráficas inferiores muestran la diferencia significativa entre ambos grupos, presentada con color rojo.



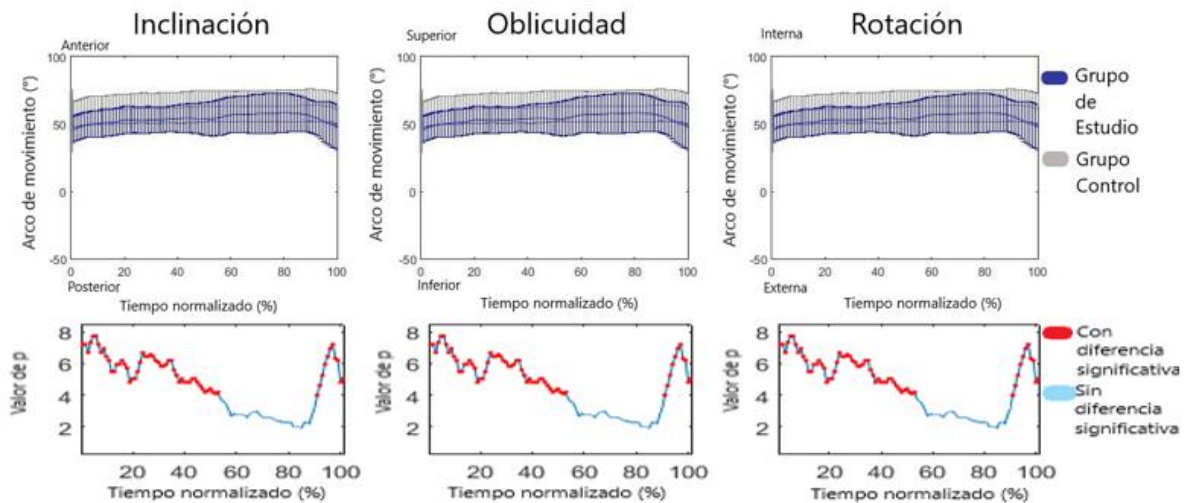
- Prueba T

En la *figura 22*, se muestran los movimientos de la pelvis derecha durante la prueba T de equilibrio. Se encuentra que existe diferencia significativa únicamente en la inclinación y en la rotación de la misma. En la inclinación, la diferencia significativa se muestra en el 0 a 50% y del 90 al 100% del tiempo normalizado. Asimismo, en las rotaciones, la diferencia se encuentra en aproximadamente el 100% del tiempo.



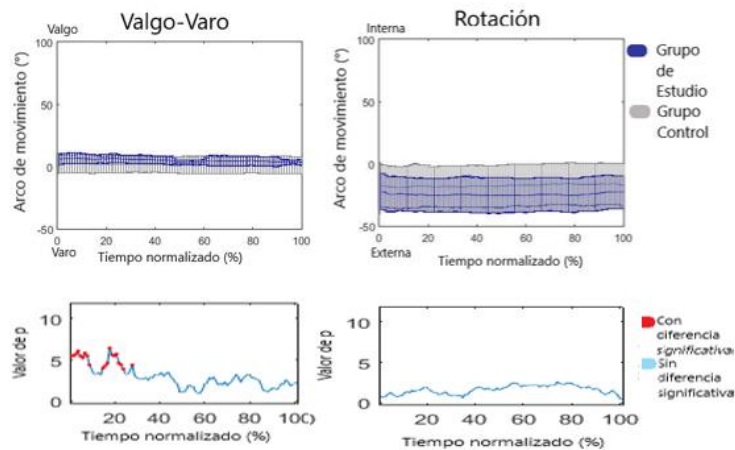
**Figura 22.** Movimientos de pelvis (lado derecho). Las gráficas superiores representan los movimientos de inclinación, oblicuidad y rotación. El grupo de estudio se representa con color azul y el grupo control con color gris. Las gráficas inferiores muestran la diferencia significativa entre ambos grupos, presentada con color rojo; en azul cielo se muestra el porcentaje del tiempo donde no hubo diferencia significativa.

Entre tanto, todos los movimientos del lado izquierdo de la pelvis (*figura 23*), presentan diferencia significativa. En la inclinación, existe diferencia del 0-50% del tiempo de la prueba, y hay ciertos puntos de diferencia en el período del 90 al 100%. La oblicuidad y la rotación, muestran diferencia significativa en los mismos porcentajes que la inclinación.



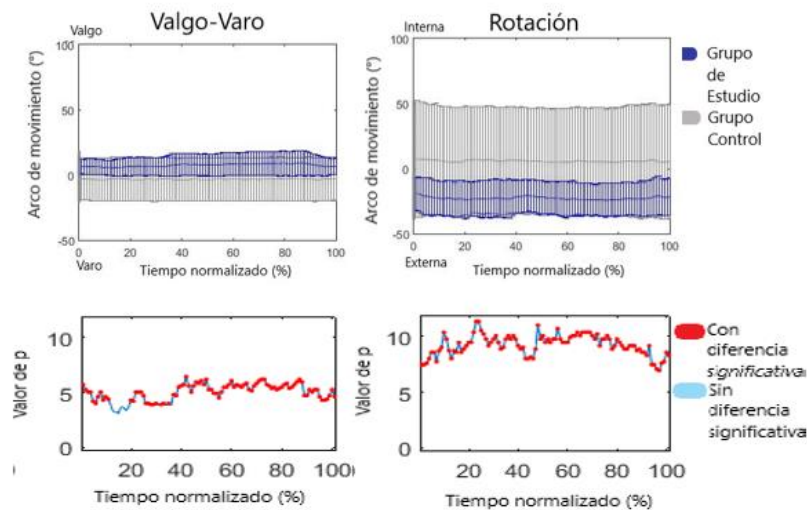
**Figura 23.** Movimientos de pelvis (lado izquierdo). Las gráficas superiores representan los movimientos de inclinación, oblicuidad y rotación. El grupo de estudio se representa con color azul y el grupo control con color gris. Las gráficas inferiores muestran la diferencia significativa entre ambos grupos, presentada con color rojo; en azul cielo se muestra el porcentaje de tiempo donde no hubo diferencia significativa.

En los movimientos de la rodilla derecha (valgo-varo y rotaciones) mostrados en la *figura 24*, sólo existe diferencia significativa para el valgo y varo de rodilla; mostrándose en ciertos momentos del 0 al 25% del tiempo normalizado.



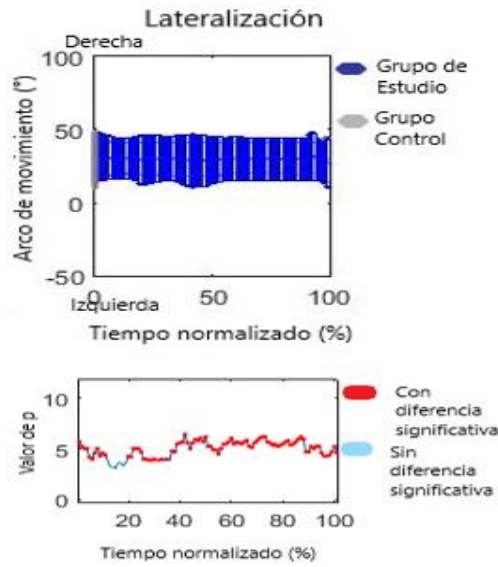
**Figura 24.** Movimientos de la rodilla (derecha). La gráfica superior izquierda representa los movimientos de valgo y varo de rodilla; mientras que la superior derecha, representa las rotaciones de la misma. Se comparan grupo de estudio en color azul y grupo control en color gris. En las dos gráficas inferiores, se muestra la diferencia significativa entre los grupos en color rojo; y en azul cielo, donde no hubo diferencia significativa.

Al contrario que la rodilla derecha, la rodilla izquierda (figura 25), muestra diferencias significativas en casi el 100% del tiempo normalizado para ambos movimientos (valgo-varo y rotaciones). Exceptuándose solamente algunos momentos, como el 10-20% del tiempo en valgo y varo.

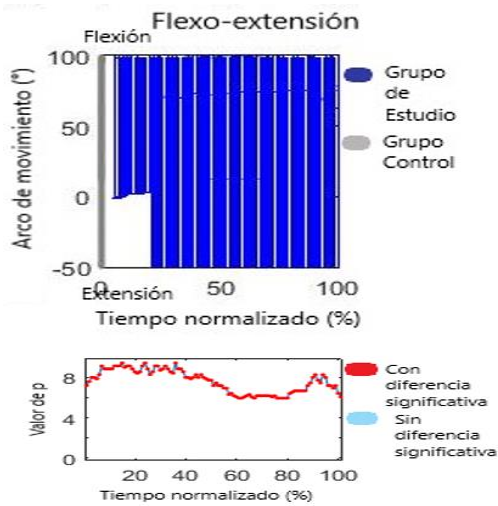


**Figura 25.** Movimientos de la rodilla (izquierda). La gráfica superior izquierda representa los movimientos de valgo y varo de rodilla; mientras que la superior derecha, representa las rotaciones de la misma. Se comparan grupo de estudio en color azul y grupo control en color gris. En las dos gráficas inferiores, se muestra la diferencia significativa entre los grupos en color rojo; y en azul cielo, donde no hubo diferencia significativa.

En la *figura 26*, observamos los movimientos de lateralización derecha e izquierda del cuello; donde hubo diferencia significativa del 0 al 15% y del 20 al 100% del tiempo normalizado para la prueba T. Por otro lado, el tronco, representado en la *figura 27*, mostró diferencia significativa en el 100% del tiempo para el movimiento de flexo-extensión.



**Figura 26.** Lateralización de cuello. En la gráfica superior se muestran las lateralizaciones de cuello. Se observa la comparación entre grupos, caracterizado el grupo de estudio en color azul, y el grupo control en color gris. En la gráfica inferior se representa la diferencia significativa entre



**Figura 27.** Flexo-extensión de tronco. En la gráfica superior se muestran los movimientos de flexión y extensión del tronco. Se muestra la comparación de ambos grupos: en azul, el grupo de estudio; en gris, el grupo control. En la gráfica inferior, se representa la diferencia significativa en color rojo.

A las variables espaciotemporales que fueron evaluadas, se les hizo una prueba de normalidad de Shapiro Wilk; en la cual, se encontró que la mayoría procedía de una distribución normal ( $p \leq 0.05$ ). Las pruebas estadísticas aplicadas fueron: Prueba t y U de Mann-Whitney, para las variables paramétricas y no paramétricas, respectivamente. A continuación se presentan las variables para cada una de las pruebas:

- BESS

En la prueba BESS (tabla 8), se encontraron únicamente diferencias significativas en las variables espaciotemporales de 3 condiciones (BPF, UPF, UPI); las cuales fueron, longitud de paso en Bipedestación Firme, rango de lateralización de cabeza y rango de flexo-extensión de c7 en Unipodal Firme, y longitud de paso y velocidad de paso en Unipodal Inestable.

| <b>Variable</b>                   | <b>Grupo</b> | <b>Prueba estadística</b> | <b>Sig.</b>   |
|-----------------------------------|--------------|---------------------------|---------------|
| <b>BPF</b>                        |              |                           |               |
|                                   | Control      |                           |               |
| Longitud de paso                  | Estudio      | Prueba t                  | <b>0.008*</b> |
|                                   | Control      |                           |               |
| Velocidad de paso                 | Estudio      | Prueba t                  | 0.525         |
|                                   | Control      |                           |               |
| Rango de lateralización de sacro  | Estudio      | Prueba t                  | 0.473         |
|                                   | Control      |                           |               |
| Rango de flexo-extensión de sacro | Estudio      | Prueba t                  | 0.614         |
|                                   | Control      |                           |               |
| Rango de lateralización de cabeza | Estudio      | U de Mann-Whitney         | 0.357         |
|                                   | Control      |                           |               |
| Rango flexo-extensión de cabeza   | Estudio      | Prueba t                  | 0.958         |
|                                   | Control      |                           |               |
| Rango lateralización de c7        | Estudio      | U de Mann-Whitney         | 0.357         |
|                                   | Control      |                           |               |
| Rango flexo-extensión de c7       | Estudio      | Prueba t                  | 0.359         |
|                                   | Control      |                           |               |
| Tiempo de ciclo                   | Estudio      | Prueba t                  | 0.398         |
| <b>BPI</b>                        |              |                           |               |
|                                   | Control      |                           |               |
| Longitud de paso                  | Estudio      | Prueba t                  | 0.823         |
| Velocidad de paso                 | Control      | Prueba t                  | 0.412         |

|                                  |         |                   |       |
|----------------------------------|---------|-------------------|-------|
|                                  | Estudio |                   |       |
|                                  | Control |                   |       |
| Rango de lateralización de sacro | Estudio | U de Mann-Whitney | 0.347 |
|                                  | Control |                   |       |
| Rango flexo-extensión de sacro   | Estudio | Prueba t          | 0.656 |
|                                  | Control |                   |       |
| Rango lateralización de cabeza   | Estudio | Prueba t          | 0.451 |
|                                  | Control |                   |       |
| Rango flexo-extensión de cabeza  | Estudio | Prueba t          | 0.458 |
|                                  | Control |                   |       |
| Rango lateralización de c7       | Estudio | Prueba t          | 0.913 |
|                                  | Control |                   |       |
| Rango flexo-extensión de c7      | Estudio | Prueba t          | 0.477 |
|                                  | Control |                   |       |
| Tiempo de ciclo                  | Estudio | Prueba t          | 0.640 |
| <b>PTF</b>                       |         |                   |       |
|                                  | Control |                   |       |
| Longitud de paso                 | Estudio | Prueba t          | 0.652 |
|                                  | Control |                   |       |
| Velocidad de paso                | Estudio | Prueba t          | 0.251 |
|                                  | Control |                   |       |
| Rango lateralización de sacro    | Estudio | Prueba t          | 0.126 |
|                                  | Control |                   |       |
| Rango flexo-extensión de sacro   | Estudio | U de Mann-Whitney | 0.507 |
|                                  | Control |                   |       |
| Rango lateralización de cabeza   | Estudio | Prueba t          | 0.548 |
|                                  | Control |                   |       |
| Rango flexo-extensión de cabeza  | Estudio | Prueba t          | 0.469 |
|                                  | Control |                   |       |
| Rango lateralización de c7       | Estudio | Prueba t          | 0.868 |
|                                  | Control |                   |       |
| Rango flexo-extensión de c7      | Estudio | Prueba t          | 0.651 |
|                                  | Control |                   |       |
| Tiempo de ciclo                  | Estudio | Prueba t          | 0.352 |
| <b>PTI</b>                       |         |                   |       |
|                                  | Control |                   |       |
| Longitud de paso                 | Estudio | Prueba t          | 0.730 |
|                                  | Control |                   |       |
| Velocidad de paso                | Estudio | Prueba t          | 0.379 |
|                                  | Control |                   |       |
| Rango lateralización de sacro    | Estudio | Prueba t          | 0.368 |
|                                  | Control |                   |       |
| Rango flexo-extensión de sacro   | Estudio | U de Mann-Whitney | 0.367 |

|                                 |         |                   |               |
|---------------------------------|---------|-------------------|---------------|
|                                 | Control |                   |               |
| Rango lateralización de cabeza  | Estudio | U de Mann-Whitney | 0.605         |
|                                 | Control |                   |               |
| Rango flexo-extensión de cabeza | Estudio | Prueba t          | 0.256         |
|                                 | Control |                   |               |
| Rango lateralización de c7      | Estudio | U de Mann-Whitney | 0.567         |
|                                 | Control |                   |               |
| Rango flexo-extensión de c7     | Estudio | U de Mann-Whitney | 0.196         |
|                                 | Control |                   |               |
| Tiempo de ciclo                 | Estudio | Prueba t          | 0.448         |
| <b>UPF</b>                      |         |                   |               |
|                                 | Control |                   |               |
| Longitud de paso                | Estudio | U de Mann-Whitney | 0.667         |
|                                 | Control |                   |               |
| Velocidad de paso               | Estudio | U de Mann-Whitney | 0.344         |
|                                 | Control |                   |               |
| Rango lateralización de sacro   | Estudio | Prueba t          | 0.383         |
|                                 | Control |                   |               |
| Rango flexo-extensión de sacro  | Estudio | Prueba t          | 0.140         |
|                                 | Control |                   |               |
| Rango lateralización de cabeza  | Estudio | Prueba t          | <b>0.048*</b> |
|                                 | Control |                   |               |
| Rango flexo-extensión de cabeza | Estudio | Prueba t          | 0.139         |
|                                 | Control |                   |               |
| Rango lateralización de c7      | Estudio | Prueba t          | 0.159         |
|                                 | Control |                   |               |
| Rango flexo-extensión c7        | Estudio | Prueba t          | 0.044         |
|                                 | Control |                   |               |
| Tiempo de ciclo                 | Estudio | Prueba t          | 0.285         |
| <b>UPI</b>                      |         |                   |               |
|                                 | Control |                   |               |
| Longitud de paso                | Estudio | U de Mann-Whitney | <b>0.002*</b> |
|                                 | Control |                   |               |
| Velocidad de paso               | Estudio | U de Mann-Whitney | <b>0.030*</b> |
|                                 | Control |                   |               |
| Rango lateralización de sacro   | Estudio | Prueba t          | 0.808         |
|                                 | Control |                   |               |
| Rango flexo-extensión de sacro  | Estudio | Prueba t          | 0.579         |
|                                 | Control |                   |               |
| Rango lateralización de cabeza  | Estudio | Prueba t          | 0.104         |
|                                 | Control |                   |               |
| Rango flexo-extensión de cabeza | Estudio | Prueba t          | 0.267         |
| Rango lateralización de c7      | Control | Prueba t          | 0.529         |

|                             |         |          |       |
|-----------------------------|---------|----------|-------|
|                             | Estudio |          |       |
|                             | Control |          |       |
| Rango flexo-extensión de c7 | Estudio | Prueba t | 0.561 |
|                             | Control |          |       |
| Tiempo de ciclo             | Estudio | Prueba t | 0.646 |

**Tabla 8.** Variables espaciotemporales de las 6 condiciones de prueba BESS.  
\*Significancia  $p \leq 0.05$ .

- Marcha en Tándem

En la prueba de Marcha en Tándem (tabla 9), se encontraron un mayor número de variables espaciotemporales con diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ); siendo éstas: tiempo de ciclo derecho, tiempo de ciclo izquierdo, tiempo de apoyo derecho, tiempo de apoyo izquierdo, tiempo de balanceo derecho, tiempo de balanceo izquierdo, tiempo de doble apoyo derecho, tiempo de doble apoyo izquierdo, porcentaje de doble apoyo derecho, porcentaje de balanceo derecho, cadencia derecha, cadencia izquierda, cadencia total, velocidad de balanceo derecho, velocidad de balanceo izquierdo, velocidad promedio, tiempo total y tiempo de marcha.

| <b>Variable</b>               | <b>Grupo</b> | <b>Prueba estadística</b> | <b>Sig.</b>   |
|-------------------------------|--------------|---------------------------|---------------|
|                               | Control      |                           |               |
| Longitud de paso derecho      | Estudio      | Prueba t                  | 0.194         |
|                               | Control      |                           |               |
| Longitud de paso izquierdo    | Estudio      | Prueba t                  | 0.770         |
|                               | Control      |                           |               |
| Tiempo de ciclo derecho       | Estudio      | Prueba t                  | <b>0.000*</b> |
|                               | Control      |                           |               |
| Tiempo de ciclo izquierdo     | Estudio      | Prueba t                  | <b>0.000*</b> |
|                               | Control      |                           |               |
| Tiempo de apoyo derecho       | Estudio      | U de Mann-Whitney         | <b>0.000*</b> |
|                               | Control      |                           |               |
| Tiempo de apoyo izquierdo     | Estudio      | U de Mann-Whitney         | <b>0.000*</b> |
|                               | Control      |                           |               |
| Tiempo de balanceo derecho    | Estudio      | Prueba t                  | <b>0.000*</b> |
|                               | Control      |                           |               |
| Tiempo de balanceo izquierdo  | Estudio      | Prueba t                  | <b>0.002*</b> |
|                               | Control      |                           |               |
| Tiempo de doble apoyo derecho | Estudio      | Prueba t                  | <b>0.000*</b> |



|                                     |         |                   |               |
|-------------------------------------|---------|-------------------|---------------|
|                                     | Control |                   |               |
| Tiempo de doble apoyo izquierdo     | Estudio | Prueba t          | <b>0.001*</b> |
|                                     | Control |                   |               |
| Porcentaje de apoyo derecho         | Estudio | Prueba t          | 0.057         |
|                                     | Control |                   |               |
| Porcentaje de apoyo izquierdo       | Estudio | Prueba t          | 0.201         |
|                                     | Control |                   |               |
| Porcentaje de doble apoyo derecho   | Estudio | Prueba t          | <b>0.000*</b> |
|                                     | Control |                   |               |
| Porcentaje de doble apoyo izquierdo | Estudio | Prueba t          | 0.083         |
|                                     | Control |                   |               |
| Porcentaje de balanceo derecho      | Estudio | Prueba t          | <b>0.006*</b> |
|                                     | Control |                   |               |
| Porcentaje de balanceo izquierdo    | Estudio | Prueba t          | 0.465         |
|                                     | Control |                   |               |
| Cadencia derecha                    | Estudio | Prueba t          | <b>0.000*</b> |
|                                     | Control |                   |               |
| Cadencia izquierda                  | Estudio | Prueba t          | <b>0.000*</b> |
|                                     | Control |                   |               |
| Cadencia total                      | Estudio | Prueba t          | <b>0.000*</b> |
|                                     | Control |                   |               |
| Velocidad de apoyo derecho          | Estudio | Prueba t          | 0.530         |
|                                     | Control |                   |               |
| Velocidad de apoyo izquierdo        | Estudio | Prueba t          | 0.761         |
|                                     | Control |                   |               |
| Velocidad de balanceo derecho       | Estudio | Prueba t          | <b>0.000*</b> |
|                                     | Control |                   |               |
| Velocidad de balanceo izquierdo     | Estudio | Prueba t          | <b>0.000*</b> |
|                                     | Control |                   |               |
| Velocidad promedio                  | Estudio | U de Mann-Whitney | <b>0.014*</b> |
|                                     | Control |                   |               |
| Tiempo total                        | Estudio | U de Mann-Whitney | <b>0.002*</b> |
|                                     | Control |                   |               |
| Tiempo de giro                      | Estudio | Prueba t          | 0.187         |
|                                     | Control |                   |               |
| Tiempo de marcha                    | Estudio | U de Mann-Whitney | <b>0.000*</b> |

**Tabla 9.** Variables espaciotemporales de la Marcha en Tándem. \*Significancia  $p \leq 0.05$

- Prueba T

Finalmente, en la Prueba T de equilibrio (tabla 10), solamente dos variables espaciotemporales, de todas las que se evaluaron, presentaron diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ): distancia entre pies y velocidad promedio.

| Variable                         | Grupo   | Prueba estadística | Sig.          |
|----------------------------------|---------|--------------------|---------------|
| Distancia entre pies             | Control | Prueba t           | <b>0.004*</b> |
|                                  | Estudio |                    |               |
| Lateralización máxima de sacro   | Control | Prueba t           | 0.400         |
|                                  | Estudio |                    |               |
| Lateralización mínima de sacro   | Control | U de Mann-Whitney  | 0.878         |
|                                  | Estudio |                    |               |
| Rango de lateralización de sacro | Control | Prueba t           | 0.413         |
|                                  | Estudio |                    |               |
| Flexo-extensión máxima de sacro  | Control | Prueba t           | 0.662         |
|                                  | Estudio |                    |               |
| Flexo-extensión mínima de sacro  | Control | Prueba t           | 0.928         |
|                                  | Estudio |                    |               |
| Rango flexo-extensión de sacro   | Control | Prueba t           | 0.160         |
|                                  | Estudio |                    |               |
| Lateralización máxima de cabeza  | Control | U de Mann-Whitney  | 0.413         |
|                                  | Estudio |                    |               |
| Lateralización mínima de cabeza  | Control | U de Mann-Whitney  | 0.838         |
|                                  | Estudio |                    |               |
| Rango lateralización de cabeza   | Control | Prueba t           | 0.076         |
|                                  | Estudio |                    |               |
| Flexo-extensión máxima de cabeza | Control | Prueba t           | 0.157         |
|                                  | Estudio |                    |               |
| Flexo-extensión mínima de cabeza | Control | Prueba t           | 0.565         |
|                                  | Estudio |                    |               |
| Rango flexo-extensión de cabeza  | Control | Prueba t           | 0.240         |
|                                  | Estudio |                    |               |
| Lateralización máxima de c7      | Estudio | Prueba t           | 0.280         |
| Lateralización mínima de c7      | Control | U de Mann-Whitney  | 0.683         |

|                              |         |          |               |
|------------------------------|---------|----------|---------------|
|                              | Estudio |          |               |
|                              | Control |          |               |
| Rango lateralización de c7   | Estudio | Prueba t | 0.090         |
|                              | Control |          |               |
| Flexo-extensión máxima de c7 | Estudio | Prueba t | 0.240         |
|                              | Control |          |               |
| Flexo-extensión mínima de c7 | Estudio | Prueba t | 0.670         |
|                              | Control |          |               |
| Rango flexo-extensión de c7  | Estudio | Prueba t | 0.250         |
|                              | Control |          |               |
| Velocidad promedio           | Estudio | Prueba t | <b>0.000*</b> |

**Tabla 10.** Variables espaciotemporales de la Prueba T. \*Significancia  $p \leq 0.05$ .

De igual manera, se calculó el coeficiente de correlación de Pearson entre las variables espaciotemporales de las tres pruebas y los años de entrenamiento en el grupo de estudio, buscando hacer una relación clínica entre el tiempo y la gravedad. Se obtuvieron los siguientes resultados:

- BESS

En las seis condiciones de la prueba BESS (Bipodal Firme, Bipodal Inestable, Unipodal Firme, Unipodal Inestable, Postura en Tándem Firme y Postura en Tándem Inestable), sólo se encontró una variable con significancia (tabla 11); esta fue en Unipodal Firme, el rango de lateralización de c7.

| Variable                        | BPF          |        | BPI          |       | UPF            |               | UPI          |       | PTF          |       | PTI          |       |
|---------------------------------|--------------|--------|--------------|-------|----------------|---------------|--------------|-------|--------------|-------|--------------|-------|
|                                 | $\rho_{x,y}$ | Sig.   | $\rho_{x,y}$ | Sig.  | $\rho_{x,y}$   | Sig.          | $\rho_{x,y}$ | Sig.  | $\rho_{x,y}$ | Sig.  | $\rho_{x,y}$ | Sig.  |
| Longitud de paso                | -0.109       | 0.629  | 0.251        | 0.457 | 0.148          | 0.665         | 0.469        | 0.146 | 0.005        | 0.988 | -0.089       | 0.794 |
| Velocidad de paso               | 0.210        | 0.535  | 0.550        | 0.099 | 0.112          | 0.744         | 0.064        | 0.851 | 0.072        | 0.834 | -0.337       | 0.342 |
| Rango lateralización de sacro   | -0.236       | 0.485  | 0.468        | 0.204 | -0.565         | 0.070         | -0.170       | 0.617 | -0.313       | 0.345 | -0.570       | 0.086 |
| Rango flexo-extensión de sacro  | 0.233        | 0.491  | 0.553        | 0.123 | -0.434         | 0.182         | -0.077       | 0.823 | -0.453       | 0.162 | -0.284       | 0.427 |
| Rango lateralización de cabeza  | 0.326        | 0.328  | 0.397        | 0.291 | -0.526         | 0.096         | -0.218       | 0.519 | -0.361       | 0.276 | -0.528       | 0.117 |
| Rango flexo-extensión de cabeza | -0.231       | -0.494 | 0.253        | 0.511 | -0.401         | 0.222         | -0.314       | 0.346 | -0.514       | 0.106 | -0.452       | 0.189 |
| Rango lateralización de c7      | 0.220        | 0.516  | 0.527        | 0.145 | <b>-0.612*</b> | <b>0.045*</b> | 0.042        | 0.902 | -0.352       | 0.289 | -0.470       | 0.170 |
| Rango flexo-extensión de c7     | 0.409        | 0.212  | 0.159        | 0.683 | -0.448         | 0.167         | -0.145       | 0.671 | -0.490       | 0.126 | -0.474       | 0.166 |
| Tiempo de ciclo                 | -0.046       | 0.893  | -0.524       | 0.120 | 0.385          | 0.243         | 0.526        | 0.097 | 0.578        | 0.063 | -0.216       | 0.548 |

**Tabla 11.** Correlación de Pearson (Variables espaciotemporales de BESS- con años de entrenamiento). \*Significancia  $p \leq 0.05$ .

- Marcha en Tándem

En la prueba de Marcha en Tándem, el coeficiente de correlación de Pearson, mostró ser significativo en tres ocasiones, en las variables de: tiempo de doble apoyo derecho, porcentaje de doble apoyo derecho y velocidad de apoyo derecho.

| <b>Variable</b>                  | <b><math>\rho_{x,y}</math></b> | <b>Sig.</b>   |
|----------------------------------|--------------------------------|---------------|
| Longitud de paso derecho         | 0.830                          | 0.809         |
| Longitud de paso izquierdo       | 0.150                          | 0.661         |
| Tiempo de ciclo derecho          | 0.555                          | 0.076         |
| Tiempo de ciclo izquierdo        | 0.561                          | 0.073         |
| Tiempo de apoyo derecho          | 0.446                          | 0.169         |
| Tiempo de apoyo izquierdo        | -0.084                         | 0.807         |
| Tiempo de balanceo derecho       | 0.448                          | 0.167         |
| Tiempo de balanceo izquierdo     | 0.376                          | 0.254         |
| Tiempo de doble apoyo derecho    | <b>0.715*</b>                  | <b>0.013*</b> |
| Tiempo de doble apoyo izquierdo  | 0.170                          | 0.600         |
| Porcentaje apoyo derecho         | -0.068                         | 0.843         |
| Porcentaje apoyo izquierdo       | -0.484                         | 0.132         |
| Porcentaje doble apoyo derecho   | <b>-0.731*</b>                 | <b>0.011*</b> |
| Porcentaje doble apoyo izquierdo | 0.204                          | 0.548         |
| Porcentaje balanceo derecho      | 0.068                          | 0.843         |
| Porcentaje balanceo izquierdo    | -0.102                         | 0.764         |
| Cadencia derecha                 | -0.501                         | 0.117         |
| Cadencia izquierda               | -0.542                         | 0.085         |
| Cadencia total                   | -0.538                         | 0.088         |
| Velocidad de apoyo derecho       | <b>-0.613*</b>                 | <b>0.045*</b> |
| Velocidad de apoyo izquierdo     | -0.561                         | 0.073         |
| Velocidad de balanceo derecho    | -0.352                         | 0.289         |
| Velocidad de balanceo izquierdo  | -0.459                         | 0.156         |
| Velocidad promedio               | 0.506                          | 0.112         |
| Tiempo total                     | -0.285                         | 0.425         |
| Tiempo de giro                   | -0.280                         | 0.404         |
| Tiempo de marcha                 | -0.027                         | 0.938         |

**Tabla 12.** *Correlación de Pearson (Variables espaciotemporales de Marcha en Tándem-con años de entrenamiento).* \*Significancia  $p \leq 0.05$ .

- Prueba T

En tanto, en la Prueba T, se encontró significancia para el rango de lateralización de sacro.

| <b>Variable</b>                    | <b><math>\rho_{x,y}</math></b> | <b>Sig.</b>   |
|------------------------------------|--------------------------------|---------------|
| Apoyo de pie                       | -0.395                         | 0.23          |
| Lateralización máxima de sacro     | 0.392                          | 0.233         |
| Lateralización mínima de sacro     | 0.273                          | 0.416         |
| Rango de lateralización de sacro   | <b>0.691*</b>                  | <b>0.019*</b> |
| Flexo-extensión máxima de sacro    | 0.361                          | 0.275         |
| Flexo-extensión mínima de sacro    | 0.201                          | 0.553         |
| Rango de flexo-extensión de sacro  | 0.532                          | 0.092         |
| Lateralización máxima de cabeza    | 0.437                          | 0.179         |
| Lateralización mínima de cabeza    | 0.283                          | 0.900         |
| Rango de lateralización de cabeza  | 0.514                          | 0.105         |
| Flexo-extensión máxima de cabeza   | 0.402                          | 0.220         |
| Flexo-extensión mínima de cabeza   | -0.112                         | 0.743         |
| Rango de flexo-extensión de cabeza | 0.563                          | 0.071         |
| Lateralización máxima de c7        | 0.435                          | 0.181         |
| Lateralización mínima de c7        | 0.287                          | 0.393         |
| Rango de lateralización de c7      | 0.531                          | 0.093         |
| Flexo-extensión máxima de c7       | 0.395                          | 0.230         |
| Flexo-extensión mínima de c7       | -0.071                         | 0.835         |
| Rango de flexo-extensión de c7     | 0.568                          | 0.068         |
| Velocidad promedio                 | -0.165                         | 0.628         |

**Tabla 13.** *Correlación de Pearson (Variables espaciotemporales de Prueba T- con años de entrenamiento). \*Significancia  $p \leq 0.05$ .*

## Capítulo VI

### Discusión

A pesar de que el Sistema de Puntuación de Error en Equilibrio (BESS), ha sido empleado desde tiempo atrás como una herramienta de evaluación de la conmoción cerebral, diversos autores mencionan (9–11) que cuenta con un nivel de sensibilidad y especificidad bajo. Buckley y colaboradores, en 2016, refieren una sensibilidad de 0.07 una semana después de la lesión cerebral; además de una serie de limitaciones, tales como factores ambientales, y que posterior a la lesión hay un aumento en el puntaje de 3 a 6 errores, menos de los mínimos detectables (7.3 a 9.4 errores) (9).

Asimismo, en otro estudio publicado por Buckley et. al en 2018, buscaban identificar si la prueba BESS modificada era lo suficientemente sensible para detectar la conmoción cerebral aguda. En dicha investigación, se alude que la prueba BESS modificada es la sugerida por la herramienta SCAT para la evaluación de la conmoción cerebral; por lo que, se compara BESS normal y BESS modificado indagando sobre si es conveniente el cambio de la prueba en el diagnóstico. La diferencia entre ambas pruebas, consiste en que el BESS modificado sólo se evalúa en superficie firme. Como resultado, obtuvieron una sensibilidad del 60.0% y 71.4%, para BESS y BESS modificado respectivamente al día después de la lesión; en cambio, para una semana después, la sensibilidad disminuía a 34.3% en BESS modificado (10).

En lo que concierne a este estudio, el análisis biomecánico de la prueba BESS, tampoco arrojó variables cinéticas o cinemáticas con relevancia estadística. Sin embargo, en referencia con lo que menciona Buckley, los puntajes clínicos para la cuantificación de errores en el test de BESS, muestran una diferencia de 5.7 puntos entre grupos; lo que se podría interpretar como poco sensible. Por todo lo anterior, se concuerda con investigaciones previas (9,10), en que la herramienta BESS no es del todo factible para la detección de cambios en el equilibrio post lesión cerebral traumática leve.

Como se mencionó anteriormente, la Marcha en Tándem, es el otro test clínico sugerido por la herramienta SCAT5 (60); por lo que estudios recientes (11), la han puesto en prueba como instrumento de evaluación después de la CCRD. Oldham y asociados, en 2018, llevan a cabo una investigación donde comparan la sensibilidad y especificidad de la marcha en tándem, prueba BESS y BESS modificado. Se conformaron dos grupos de 38 participantes cada uno, un grupo control (atletas sin conmoción cerebral) y uno de estudio (atletas con conmoción cerebral diagnosticada); así como un tercer grupo de diez estudiantes atletas, para detectar los cambios mínimos en la misma.

Se les aplicó una evaluación multifacética que consistía en una lista de signos, síntomas y test neuropsicológicos. Las pruebas BESS, BESS modificado y MAHTA se aplicaron como se han descrito previamente en este documento. Se les hizo una prueba previa a la lesión y una posterior (<48hrs) al grupo de estudio, mientras que a los controles, en el año siguiente. La significancia estadística se estableció en  $p < 0.05$ , y como variables independientes, se tomaron los grupos (grupo control y grupo de estudio) y los tiempos (tiempo 1 y tiempo 2). Sus resultados presentaron una diferencia estadísticamente significativa ( $p = 0.038$ ) para la MAHTA en el grupo de estudio post conmoción, es decir, que tuvieron un empeoramiento (mayor tiempo) al realizar la actividad después del traumatismo. En cuanto al grupo control, no se encontró diferencia significativa. Para las pruebas de BESS y BESS modificado, no se encontraron diferencias significativas en ninguno de los grupos (11). De igual forma, en el presente estudio, se obtuvieron diferencias significativas ( $p = 0.004$ ) entre ambos grupos (grupo control y grupo de estudio) en los tiempos de ejecución de la maniobra.

En 2017, Santo y asociados, publican un artículo donde se aplica la MAHTA y otras pruebas de equilibrio en atletas sanos; es decir, que no presentan lesión cerebral traumática leve. Conforman un grupo de 200 participantes (hombres y mujeres) de cuatro escuelas secundarias que realizaban algún tipo de deporte como: baloncesto, porra, hockey, fútbol americano, entre otros. Como aportación, mencionan la asociación del género con el rendimiento en la MAHTA, ya que existe una diferencia significativa entre hombres y mujeres ( $p = 0.01$ ). Además, se encuentran valores significativos en la talla de los sujetos ( $p < 0.001$ ), referenciando que los más altos tuvieron mejor puntaje en contraste con los más pequeños (76). Aludiendo al actual estudio, las diferencias de sexo entre ambos grupos fueron significativas ( $p = 0.042$ ), siendo mayor número de mujeres en el grupo control que en el grupo de estudio; lo cual pueda tener repercusiones al hacer la comparación entre ambos. En cuanto a la talla, no se encontraron diferencias significativas; y aunado a esto, en el análisis biomecánico se lleva a cabo una antropometrización, por lo que la estatura de los individuos no influye en el análisis.

Un estudio similar al presente, es el publicado por Lynall en 2018 (74), donde hace un contraste de la MAHTA entre un grupo control (15 atletas sanos) y un grupo de estudio (15 atletas con historial de conmoción cerebral). Tenían como objetivo determinar si existían diferencias significativas en el equilibrio dinámico entre ambos grupos. El grupo de estudio debía de haber presentado alguna CCRD en los últimos 18 meses, y el grupo control fue emparejado. La investigación se llevó a cabo a través del uso de una Pasarela Zeno™ de Protokinetics®, que mide 4.9x0.6m y contiene una almohadilla y un circuito de 16 niveles para detectar los centros de presión. Mediante el software se hizo el registro y el análisis de variables espaciotemporales y dinámicas. La prueba estuvo compuesta por 4 condiciones: a) una tarea sencilla y ojos abiertos, b) tarea sencilla y ojos cerrados, c) doble tarea y ojos abiertos, y d) doble tarea y ojos cerrados. La doble tarea se realizó con una actividad de memorización, donde cada participante debía ser capaz de recordar una cuadrícula de 4x4 con números del 1 al 8 mientras completaba la MAHTA lo más rápido posible. Cada sujeto en



prueba completó 3 ensayos. Se calcularon la velocidad de la Marcha en Tándem (cm/s), la velocidad del centro de presión (cm/s) y la longitud de la ruta del centro de presión (cm). Para el análisis, se tomaron en cuenta únicamente los primeros 140cm de cada prueba, debido a que en su mayoría, los participantes dejaban de hacer la MAHTA al terminar la tarea cognitiva. Se encontró diferencia significativa ( $p=0.049$ ) en la velocidad de la MAHTA entre ambos grupos, con una diferencia de 4cm/s (74). En correspondencia con esta investigación, en la actual, se encontró también diferencia significativa entre grupos para la velocidad promedio ( $p=0.014$ ). No obstante, la MAHTA fue la prueba que más variables cinéticas y cinemáticas arrojó; por lo que se podría sugerir como prueba estándar para la detección de alteraciones en el equilibrio provocadas por una conmoción cerebral.

Finalmente, ante una carencia de publicaciones que implementen la Prueba T, nos quedamos con los resultados obtenidos en este estudio; habiéndose encontrado diferencias significativas en la distancia entre pies y en la velocidad promedio ( $p=0.004$  y  $p=0.000$ , respectivamente). Igualmente, se arrojaron ciertas variables angulares con diferencia significativa, tales como los movimientos de pelvis y de rodilla. Con base en estos resultados, a esto, puede proponerse como una herramienta útil para la evaluación de la estabilidad postural.

## Capítulo VII

### Conclusiones

La evaluación biomecánica de la prueba BESS, Marcha en Tándem y Prueba T, en atletas de combate (modalidades de boxeo) en comparación con un grupo control (atletas sin combate) nos arrojó variables cinéticas y cinemáticas con diferencias estadísticamente significativas. Sin embargo, en la prueba BESS las diferencias fueron mínimas y no se encontraron en todas las condiciones del test ni en las variables angulares. Por lo anterior, se puede concluir que la prueba ideal para evaluar el equilibrio post conmoción cerebral es la Marcha en Tándem. Además, sería conveniente implementar nuevas variables cinéticas y cinemáticas para la Prueba BESS y Prueba T en próximas evaluaciones biomecánicas.

Se concluye también que no hay correlación entre los años de entrenamiento y los puntajes clínicos de las tres pruebas. No obstante, existe correlación entre los años de entrenamiento y algunas variables espaciotemporales de las tres pruebas.

## Limitaciones del estudio

Como limitantes, tuvimos la falta de respuesta ante la convocatoria del estudio, por parte de los sujetos en estudio (atletas de combate); por lo que la  $n$  fue muy pequeña. Asimismo, su falta de interés para acudir a más evaluaciones. Para futuros estudios, se sugiere una  $n$  más grande; así como, una evaluación previa a los traumatismos repetitivos y/o evaluaciones posteriores.

Otra limitante, fue que los deportistas de contacto, se encontraban en entrenamiento constante (sparring); debido a lo cual, no se pudo tomar una medida basal para comparar entre ellos mismos. También, que el grupo control estuvo conformado principalmente por mujeres, mientras que el grupo en estudio se constituyó básicamente de hombres; por lo que se sugiere para investigaciones posteriores que se haga un emparejamiento entre grupos.

Finalmente, se sugiere la implementación de nuevas variables cinéticas y cinemáticas, que puedan arrojar diferencias significativas entre grupos y se puedan correlacionar con alteraciones del equilibrio provocadas por lesiones cerebrales traumáticas en el deporte de contacto.

## Referencias

1. Howell DR, Kirkwood MW, Provance A, Iverson GL, Meehan WP. Using concurrent gait and cognitive assessments to identify impairments after concussion: a narrative review. *Concussion* [Internet]. 2018;3(1):CNC54. Available from: <https://www.futuremedicine.com/doi/10.2217/cnc-2017-0014>
2. Harmon KG, Drezner JA, Gammons M, Guskiewicz KM, Halstead M, Herring SA, et al. American Medical Society for Sports Medicine position statement: concussion in sport. *Br J Sports Med*. 2013;47(1):15–26.
3. Ellis MJ, Ritchie L, Selci E, Grossi S, Frost S, McDonald PJ, et al. Googling concussion care in the USA: a critical appraisal of online concussion healthcare providers. *Concussion*. 2017;2(2):CNC33.
4. Conacyt. Consecuencias e incidencia de conmociones cerebrales en futbolistas [Internet]. 2016 [cited 2019 Apr 4]. Available from: <http://periodicoentretodos.mx/2016/08/23/consecuencias-e-incidencia-de-conmociones-cerebrales-en-futbolistas/>
5. Zazryn T, Cameron P, McCrory P. A prospective cohort study of injury in amateur and professional boxing. *Br J Sports Med*. 2006;40(8):670–4.
6. Gofton TE, Young GB. Concussion. *Encycl Neurol Sci* [Internet]. 2014;185(11):854–6. Available from: <http://www.cmaj.ca/cgi/doi/10.1503/cmaj.120511>
7. McCrory P, Meeuwisse W, Dvořák J, Aubry M, Bailes J, Broglio S, et al. Consensus statement on concussion in sport—the 5th international conference on concussion in sport held in Berlin, October 2016. *Br J Sports Med*. 2017;51(11):838–47.
8. Ware AL, Wilde EA, Newsome MR, Moretti P, Abildskov T, Vogt GS, et al. A preliminary investigation of corpus callosum subregion white matter vulnerability and relation to chronic outcome in boxers. *Brain Imaging Behav*. 2018;
9. Buckley TA, Oldham JR, Caccese JB. Postural control deficits identify lingering post-concussion neurological deficits. *J Sport Heal Sci* [Internet]. 2016;5(1):61–9. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jshs.2016.01.007>
10. Buckley TA, Munkasy BA, Clouse BP. Sensitivity and Specificity of the Modified Balance Error Scoring System in Concussed Collegiate Student Athletes. *Clin J Sport Med*. 2018;28(2):174–6.
11. Oldham JR, Difabio MS, Kaminski TW, Dewolf RM, Howell DR, Buckley TA. Efficacy of Tandem Gait to Identify Impaired Postural Control after Concussion. *Med Sci Sports Exerc*. 2018;50(6):1162–8.
12. Miralles Marrero R, Millares Rull I. *Biomecánica clínica de las patologías del aparato locomotor*. Masson; 2007.
13. Broglio SP, Puetz TW. The effect of sport concussion on neurocognitive function, self-report symptoms and postural control: a meta-analysis. 2008;38(June 2006):53–67.
14. Sufriñko AM, Marchetti GF, Cohen PE, Elbin RJ, Re V, Kontos AP. Using Acute Performance on a Comprehensive Neurocognitive, Vestibular, and Ocular Motor Assessment Battery to Predict Recovery Duration after Sport-Related Concussions. *Am J Sports Med*. 2017;45(5):1187–94.

15. Zhou G, Brodsky JR. Objective vestibular testing of children with dizziness and balance complaints following sports-related concussions. *Otolaryngol - Head Neck Surg (United States)*. 2015;152(6):1133–9.
16. Drake RL, Vogl W, Mitchel AWM. *Anatomía de Grey*. 1a Edición. Madrid, España; 2005. 1034 p.
17. Latarjet M, Ruiz Liard A. *Anatomía humana*. Edit. Médica Panamericana; 2004.
18. Jiménez-Castellanos Ballesteros J, Catalina Herrera CJ, Carmona Bono A. *Anatomía humana general*. Universidad de Sevilla; 2002.
19. Urbas J V. Brain. In: Enciclopedia de las Ciencias [Internet]. 2017 [cited 2019 May 1]. Available from: <http://eds.b.ebscohost.com.pbidi.unam.mx:8080/eds/detail/detail?vid=3&sid=cec31f73-9dde-499d-a0c4-01ea6ec8b18e%40pdc-v-sessmgr01&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3D%3D#AN=87690303&db=ers>
20. Puelles López L, Martínez Pérez S, Martínez de la Torre M. *Neuroanatomía*. Editorial Médica Panamericana; 2008.
21. Tortora, Gerard y Derrickson B. Capítulo 12. Tejido Nervioso. In: *Anatomía y fisiología humana*. 2006. p. 407–41.
22. Bustamante Zuleta E. *El sistema nervioso : desde las neuronas hasta el cerebro humano*. Editorial Universidad de Antioquia; 2007.
23. Silverthorn DU. *Fisiología humana : un enfoque integrado*. Editorial Médica Panamericana; 2008. 26 p.
24. Pocock G, Richards CD, Madero García S. *Fisiología humana : la base de la medicina*. Masson; 2005.
25. Cardinali DP. *Neurociencia aplicada : sus fundamentos*. Médica Panamericana; 2007.
26. Wilmore JH, Costill DL. *Fisiología del esfuerzo y del deporte*. Editorial Paidotribo; 2004.
27. E. Toledo, A. Lebel, L. Becerra, A. Minster, C Linnman, N Maleki, D.W. Dodick A, Borsook D. The Young Brain and Concussion: Imaging as a Biomarker for Neuroscience. *Neurosci Biobehav Rev*. 2012;36(6):1510–31.
28. Shaw NA. The neurophysiology of concussion. *Prog Neurobiol* [Internet]. 2002 Jul 1 [cited 2019 May 22];67(4):281–344. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301008202000187?via%3Dihub>
29. Barth JT, Freeman JR, Broshek DK, Varney RN. Concussion: The gravity of it all. *J Athl Train*. 2001;36(3):253–6.
30. Goldsmith W, Plunkett J. A biomechanical analysis of the causes of traumatic brain injury in infants and children. *Am J Forensic Med Pathol* [Internet]. 2004 Jun 1 [cited 2019 May 22];25(2):89–100. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15166757>
31. Bauer R, Fritz H. Pathophysiology of traumatic injury in the developing brain: An introduction and short update. *Exp Toxicol Pathol*. 2004;56(1–2):65–73.
32. Arambula SE, Reinl EL, El Demerdash N, McCarthy MM, Robertson CL. Sex differences in pediatric traumatic brain injury. *Exp Neurol*. 2019;317(January):168–79.
33. Stemper BD, Pintar FA. Biomechanics of concussion. *Concussion* [Internet]. 2012;30(1):14–27. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.csm.2010.08.009>
34. Chancellor SE, Franz ES, Minaeva O V., Goldstein LE. *Pathophysiology of Concussion*.

- Semin Pediatr Neurol [Internet]. 2019;(Grade 3). Available from: <https://doi.org/10.1016/j.spen.2019.03.004>
35. Romeu-Mejia R, Giza CC, Goldman JT. CONCUSSION (C SENTER AND M KAPADIA, SECTION EDITORS) Concussion Pathophysiology and Injury Biomechanics. 2019;(Cdc). Available from: <https://doi.org/10.1007/s12178-019-09536-8>
  36. Lizzie D, Castillo M. El trauma craneo encefalico como causa de muerte violenta en Costa Rica en el año 2004. 2006;129–42.
  37. Giza CC, Hovda DA, Angeles L, Angeles L, Angeles L. The new neurome. 2015;75(0 4).
  38. Yoshino A, Hovda DA, Kawamata T, Katayama Y, Becker DP. Dynamic changes in local cerebral glucose utilization following cerebral concussion in rats: evidence of a hyper- and subsequent hypometabolic state. Brain Res [Internet]. 1991 Oct 4 [cited 2019 May 23];561(1):106–19. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/000689939190755K?via%3Dihub>
  39. Singleton RH, Zhu J, Stone JR, Povlishock JT. Traumatically induced axotomy adjacent to the soma does not result in acute neuronal death. J Neurosci [Internet]. 2002 Feb 1 [cited 2019 May 23];22(3):791–802. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11826109>
  40. Johnson VE, Stewart W, Smith DH. Axonal pathology in traumatic brain injury. Exp Neurol [Internet]. 2013 Aug 1 [cited 2019 May 23];246:35–43. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0014488612000337?via%3Dihub>
  41. MAXWELL WL, POVLISHOCK JT, GRAHAM DL. A Mechanistic Analysis of Nondisruptive Axonal Injury: A Review. J Neurotrauma [Internet]. 1997 Jul 29 [cited 2019 May 23];14(7):419–40. Available from: <http://www.liebertpub.com/doi/10.1089/neu.1997.14.419>
  42. Cantu RC, Gean AD. Second-Impact Syndrome and a Small Subdural Hematoma: An Uncommon Catastrophic Result of Repetitive Head Injury with a Characteristic Imaging Appearance. J Neurotrauma [Internet]. 2010;27(9):1557–64. Available from: <http://www.liebertonline.com/doi/abs/10.1089/neu.2010.1334>
  43. LANGFITT TW, WEINSTEIN JD, KASSELL NF. CEREBRAL VASOMOTOR PARALYSIS PRODUCED BY INTRACRANIAL HYPERTENSION. Neurology [Internet]. 1965 Jul 1 [cited 2019 May 23];15(7):622–41. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14306322>
  44. McQuillen JB, McQuillen EN, Morrow P. Trauma, sport, and malignant cerebral edema. Am J Forensic Med Pathol [Internet]. 1988 Mar [cited 2019 May 23];9(1):12–5. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3354517>
  45. Smith DH, Johnson VE, Stewart W. Chronic neuropathologies of single and repetitive TBI: substrates of dementia? Nat Rev Neurol [Internet]. 2013 Apr 5 [cited 2019 May 23];9(4):211–21. Available from: <http://www.nature.com/articles/nrneurol.2013.29>
  46. DeKosky ST, Blennow K, Ikonovic MD, Gandy S. Acute and chronic traumatic encephalopathies: pathogenesis and biomarkers. Nat Rev Neurol [Internet]. 2013 Apr 5 [cited 2019 May 23];9(4):192–200. Available from: <http://www.nature.com/articles/nrneurol.2013.36>
  47. Rubenstein R, Sharma DR, Chang B, Oumata N, Cam M, Vaucelle L, et al. Novel Mouse Tauopathy Model for Repetitive Mild Traumatic Brain Injury: Evaluation of Long-Term Effects on Cognition and Biomarker Levels After Therapeutic Inhibition of Tau Phosphorylation. Front Neurol. 2019;10(March):1–21.
  48. Choe MC. The Pathophysiology of Concussion. Curr Pain Headache Rep [Internet]. 2016 Jun 16 [cited 2019 May 23];20(6):42. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/s11916-016-0573-9>
  49. Ackery A, Provvidenza C, Tator CH. Concussion in hockey: compliance with return to play

- advice and follow-up status. *Can J Neurol Sci* [Internet]. 2009 Mar [cited 2019 May 24];36(2):207–12. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19378716>
50. Sean Echlin P, Tator CH, Cusimano MD, Cantu RC, Taunton JE, Upshur REG, et al. A prospective study of physician-observed concussions during junior ice hockey: implications for incidence rates. *J Neurosurg* [Internet]. 2010 [cited 2019 May 24];29:10. Available from: <https://thejns.org/focus/view/journals/neurosurg-focus/29/5/2010.9.focus10186.xml>
  51. Comper; VKTKRMJT. Does the Apolipoprotein ε4 Allele Predispose Varsity Athletes to Concussion? A Prospective Cohort Study. *Clin J Sport Med* [Internet]. 2008 Jul 1 [cited 2019 May 24];18(4):322–8. Available from: <https://insights.ovid.com/pubmed?pmid=18614883>
  52. Tepper D. Cefalea como resultado de conmoción cerebral en los deportes. *Headache*. 2013;53(7):1199–200.
  53. Howell D, Osternig L, Chou LS. Monitoring recovery of gait balance control following concussion using an accelerometer. *J Biomech* [Internet]. 2015;48(12):3364–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbiomech.2015.06.014>
  54. Lesión M De, Traumática C. de una lesión cerebral traumática. 2011;
  55. Feigenbaum LA, Kim KJ, Gaunaurd IA, Kaplan LD, Scavo VA, Bennett C, et al. Post-Concussive Changes in Balance and Postural Stability Measured With Canesense™ and the Balance Error Scoring System (Bess) in Division I Collegiate Football Players: a Case Series. *Int J Sports Phys Ther* [Internet]. 2019;14(2):296–307. Available from: <https://spts.org/member-benefits-detail/enjoy-member-benefits/journals/ijst/v14n2#ijst20190296>
  56. Azad AM, Al Juma S, Bhatti JA, Delaney JS. Modified Balance Error Scoring System (M-BESS) test scores in athletes wearing protective equipment and cleats. *BMJ Open Sport Exerc Med*. 2016;2(1):e000117.
  57. Covassin T, Elbin RJ, Harris W, Parker T, Kontos A. The role of age and sex in symptoms, neurocognitive performance, and postural stability in athletes after concussion. *Am J Sports Med*. 2012;40(6):1303–12.
  58. Quatman-Yates C, Hugentobler J, Ammon R, Mwase N, Kurowski B, Myer GD. The utility of the balance error scoring system for mild brain injury assessments in children and adolescents. *Phys Sportsmed*. 2014;42(3):32–8.
  59. Iowa Department of Public Health. Balance Error Scoring System manual. Available from: <https://idph.iowa.gov/Portals/1/Files/ACBI/BESS manual 310.pdf>
  60. Echemendia RJ, Meeuwisse W, McCrory P, Davis GA, Putukian M, Leddy J, et al. The Sport Concussion Assessment Tool 5th Edition (SCAT5). *Br J Sports Med*. 2017;bjsports-2017-097506.
  61. Tejero Fernández J. Aplicación de tests, pruebas y cuestionarios para la valoración de la condición física, biológica y motivacional. IC Editorial; 2014. 359 p.
  62. Zazryn TR, Finch CF, McCrory P. A 16 year study of injuries to professional boxers in the state of Victoria, Australia. *Br J Sports Med* [Internet]. 2003 Aug [cited 2019 Jun 3];37(4):321–4. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12893717>
  63. Jordan BD, Campbell EA. Acute Injuries Among Professional Boxers in New York State: A Two-Year Survey. *Phys Sportsmed* [Internet]. 1988 Jan 12 [cited 2019 Jun 3];16(1):87–91. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27427106>
  64. Estwanik JJ, Boitano M, Ari N. Amateur Boxing Injuries at the 1981 and 1982 USA/ABF National Championships. *Phys Sportsmed* [Internet]. 1984 Oct 12 [cited 2019 Jun 3];12(10):123–8. Available from:

<http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00913847.1984.11701972>

65. Welch MJ, Sitler M, Kroeten H. Boxing Injuries From an Instructional Program. *Phys Sportsmed* [Internet]. 1986 Sep 11 [cited 2019 Jun 3];14(9):81–9. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27467611>
66. Jordan BD, Matser EJT, Zimmerman RD, Zazula T. Sparring and Cognitive Function in Professional Boxers. *Phys Sportsmed* [Internet]. 1996 May 19 [cited 2019 Jun 3];24(5):87–98. Available from: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.3810/psm.1996.05.1358>
67. Aguilar Gutiérrez M. *Biomecánica : la física y la fisiología*. Instituto de Ciencia de Materiales, Consejo Superior de Investigaciones Científicas; 2000.
68. Riley WF, Sturges LD. *Ingeniería mecánica. Dinámica*. Reverté; 1996.
69. Kane JW, Sternheim MM. *Física*. Reverté; 1989.
70. Whittle M. *Gait analysis : an introduction*. Butterworth-Heinemann; 2007. 255 p.
71. Begon M, Colloud F, Fohanno V, Bahuaud P, Monnet T. Computation of the 3D kinematics in a global frame over a 40m-long pathway using a rolling motion analysis system. *J Biomech* [Internet]. 2009 Dec [cited 2019 May 24];42(16):2649–53. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0021929009004771>
72. Rochefort C, Walters-Stewart C, Aglipay M, Barrowman N, Zemek R, Sveistrup H. Self-reported balance status is not a reliable indicator of balance performance in adolescents at one-month post-concussion. *J Sci Med Sport* [Internet]. 2017;20(11):970–5. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsams.2017.04.008>
73. Massingale S, Alexander A, Erickson S, McQueary E, Gerkin R, Kisana H, et al. Comparison of uninjured and concussed adolescent athletes on the concussion balance test (COBALT). *J Neurol Phys Ther*. 2018;42(3):149–54.
74. Mihalik JP, Plummer P, Lynall RC, Blackburn JT, Guskiewicz KM, Marshall SW. Functional balance assessment in recreational college-aged individuals with a concussion history. *J Sci Med Sport* [Internet]. 2018; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2018.10.012>
75. Cavanaugh JT, K.M. G, C. G, S. M, V.S. M, Guskiewicz KM, et al. Recovery of Postural Control After Cerebral Concussion: New Insights Using Approximate Entropy. *J Athl Train* [Internet]. 2006;41(3):305–13. Available from: <http://ovidsp.ovid.com/ovidweb.cgi?T=JS&PAGE=reference&D=psyc5&NEWS=N&AN=2006-12460-002%5Cnhttp://www.nata.org/jat/readers/archives/41.3/pdf/i1062-6050-41-3-305.pdf%5Cnhttp://ovidsp.ovid.com/ovidweb.cgi?T=JS&PAGE=reference&D=emed10&NEWS=N&AN=46882401>
76. Santo A, Lynall RC, Guskiewicz KM, Mihalik JP. Clinical Utility of the Sport Concussion Assessment Tool 3 (SCAT3) Tandem-Gait Test in High School Athletes. *J Athl Train*. 2017;52(12):1096–100.

## ANEXOS



## ANEXO 1: Manual BESS

### **Balance Error Scoring System (BESS)**

*Developed by researchers and clinicians at the University of North Carolina's Sports Medicine Research Laboratory, Chapel Hill, NC 27599-8700*

The Balance Error Scoring System provides a portable, cost-effective, and objective method of assessing static postural stability. In the absence of expensive, sophisticated postural stability assessment tools, the BESS can be used to assess the effects of mild head injury on static postural stability. Information obtained from this clinical balance tool can be used to assist clinicians in making return to play decisions following mild head injury.

The BESS can be performed in nearly any environment and takes approximately 10 minutes to conduct.

#### **Materials**

##### 1) Testing surfaces

-two testing surfaces are need to complete the BESS test: floor/ground and foam pad.

*1a) Floor/Ground:* Any level surface is appropriate.

*1b) Foam Pad (Power Systems Airex Balance Pad 81000)*

Address = PO Box 31709 Knoxville, TN 37930 tel = 1-800-321-6975

Web Address = [www.power-systems.com](http://www.power-systems.com)

Dimensions: Length: 10" Width: 10" Height: 2.5"

The purpose of the foam pad is to create an unstable surface and a more challenging balance task, which varies by body weight. It has been hypothesized that as body weight increases the foam will deform to a greater

degree around the foot. The heavier the person the more the foam will deform. As the foam deforms around the foot, there is an increase in support on the lateral surfaces of the foot. The increased contact area between the foot and foam has also been theorized to increase the tactile sense of the foot, also helping to increase postural stability. The increase in tactile sense will cause additional sensory information to be sent to the CNS. As the brain processes this information it can make better decisions when responding to the unstable foam surface.

2) Stop watch

-necessary for timing the subjects during the 6, twenty second trials

3) An assistant to act as a spotter

-the spotter is necessary to assist the subject should they become unstable and begin to fall. The spotter's attention is especially important during the foam surface.

4) BESS Testing Protocol

-these instructions should be read to the subject during administration of the BESS

5) BESS Score Card (See end of document)

## **BESS Test Administration**

- 1) Before administering the BESS, the following materials should be present:
  - foam pad
  - stop watch
  - spotter
  - BESS Testing Protocol
  - BESS Score Card
- 2) Before testing, instruct the individual to remove shoes and any ankle taping if necessary.

Socks may be worn  
if desired.
- 3) Read the instructions to the subject as they are written in the BESS Testing Protocol.
- 4) Record errors on the BESS Score Card as they are described below.

## **Scoring the BESS**

Each of the twenty-second trials is scored by counting the errors, or deviations from the proper stance, accumulated by the subject. The examiner will begin counting errors only after the individual has assumed the proper testing position.

*Errors:* An error is credited to the subject when any of the following occur:

- ◆ moving the hands off of the iliac crests
- ◆ opening the eyes
- ◆ step stumble or fall
- ◆ abduction or flexion of the hip beyond 30°
- ◆ lifting the forefoot or heel off of the testing surface
- ◆ remaining out of the proper testing position for greater than 5 seconds

**-The maximum total number of errors for any single condition is 10.**

*Normal Scores for Each Possible Testing Surface*

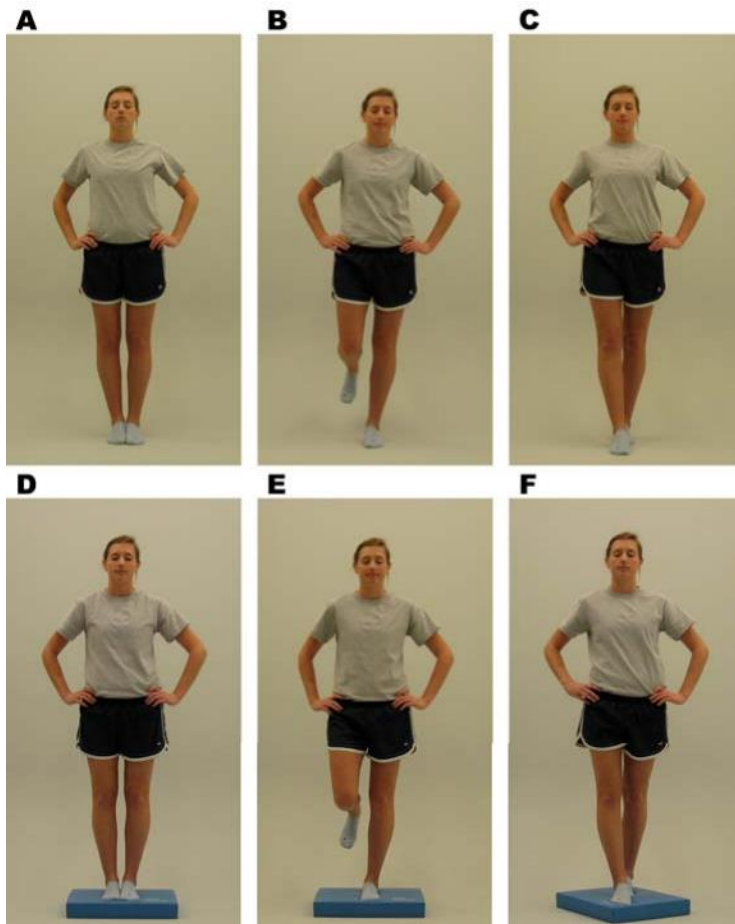
|                         | <b>Firm Surface</b> | <b>Foam Surface</b> |                 |
|-------------------------|---------------------|---------------------|-----------------|
| Double Leg Stance       | .009 ± .12          | .33 ± .90           |                 |
| Single Leg Stance       | 2.45 ± 2.33         | 5.06 ± 2.80         |                 |
| Tandem Stance           | .91 ± 1.36          | 3.26 ± 2.62         |                 |
| <b>Surface Total</b>    | 3.37 ± 3.10         | 8.65 ± 5.13         |                 |
| <b>BESS Total Score</b> |                     |                     | 12.03 ±<br>7.34 |

*Maximum Number of Errors Possible for Each Testing Surface*

|                      | <b>Firm Surface</b> | <b>Foam Surface</b> |
|----------------------|---------------------|---------------------|
| Double Leg Stance    | 10                  | 10                  |
| Single Leg Stance    | 10                  | 10                  |
| Tandem Stance        | 10                  | 10                  |
| <b>Surface Total</b> | 30                  | 30                  |

-if a subject commits multiple errors simultaneously, only one error is recorded. For example, if an individual steps or stumbles, opens their eyes, and removes their hands from their hips simultaneously, then they are credited with only **one error**.

-subjects that are unable to maintain the testing procedure for a minimum of **five seconds** are assigned the highest possible score, ten, for that testing condition.



**A&D: Double leg stance:** Standing on a firm surface with feet side by side (touching), hands on the hips and eyes closed

**B&E: Single leg stance:** Standing on a firm surface on the non-dominant foot (defined below), the hip is flexed to approximately 30° and knee flexed to approximately 45°. Hands are on the hips and eyes closed.

*\*Non-Dominant Leg:* The non-dominant leg is defined as the opposite leg of the preferred kicking leg

C&F: **Tandem Stance:** Standing heel to toe on a firm surface with the non-dominant foot (defined above) in the back. Heel of the dominant foot should be touching the toe of the non-dominant foot. Hands are on the hips and their eyes are closed.

## Script for the BESS Testing Protocol

**Direction to the subject:** *I am now going to test your balance.*

*Please take your shoes off, roll up your pant legs above ankle (if applicable), and remove any ankle taping (if applicable).*

*This test will consist of 6 - twenty second tests with three different stances on two different surfaces. I will describe the stances as we go along.*

### **DOUBLE LEG STANCE:**

**Direction to the subject:** *The first stance is standing with your feet together like this*

[administrator demonstrates two-legged stance]

*You will be standing with your hands on your hips with your eyes closed. You should try to maintain stability in that position for entire 20 seconds. I will be counting the number of times you move out of this position. For example: if you take your hands off your hips, open your eyes, take a step, lift your toes or your heels. If you do move out of the testing stance, simply open your eyes, regain your balance, get back into the testing position as quickly as possible, and close your eyes again.*

*There will be a person positioned by you to help you get into the testing stance and to help if you lose your balance.*

**Direction to the spotter:** *You are to assist the subject if they fall during the test and to help them get back into the position.*

**Direction to the subject:** *Put your feet together, put your hands on your hips and when you close your eyes the testing time will begin [Start timer when subject closes their eyes]*

### **SINGLE LEG STANCE:**

**Direction to subject:** *If you were to kick a ball, which foot would you use? [This will be the **dominant** foot]*

*Now stand on your **non-dominant** foot.*

[Before continuing the test assess the position of the dominant leg as such: the dominant leg should be held in approximately 30 degrees of hip flexion and 45 degrees of knee flexion]

*Again, you should try to maintain stability for 20 seconds with your eyes closed. I will be counting the number of times you move out of this position.*

*Place your hands on your hips. When you close your eyes the testing time will begin.*

[Start timer when subject closes their eyes]

**Direction to the spotter:** *You are to assist the subject if they fall during the test and to help them get back into the position.*

### **TANDEM STANCE:**

**Directions to the subject:** *Now stand heel-to-toe with your **non-dominant** foot in back. Your weight should be evenly distributed across both feet.*

*Again, you should try to maintain stability for 20 seconds with your eyes closed. I will be counting the number of times you move out of this position.*

Place your hands on your hips. When you close your eyes the testing time will begin.

[Start timer when subject closes their eyes]

**Direction to the spotter:** You are to assist the subject if they fall during the test and to help them get back into the position.

\*\*\* Repeat each set of instructions for the foam pad

### Score Card

| <b>Balance Error Scoring System (BESS)</b><br>(Guskiewicz)   |                                       |         |         |
|--|---------------------------------------|---------|---------|
| <b>Balance Error Scoring System – Types of Errors</b><br>1. Hands lifted off iliac crest<br>2. Opening eyes<br>3. Step, stumble, or fall<br>4. Moving hip into > 30 degrees abduction<br>5. Lifting forefoot or heel<br>6. Remaining out of test position >5 sec | <b>SCORE CARD:</b>                    | FIRM    | FOAM    |
|  | (# errors)                            | Surface | Surface |
|  | Double Leg Stance (feet together)     |         |         |
|  | Single Leg Stance (non-dominant foot) |         |         |
|  | Tandem Stance (non-dom foot in back)  |         |         |
|  | Total Scores:                         |         |         |
| <b>The BESS is calculated by adding one error point for each error during the 6 20-second tests.</b>   | <b>BESS TOTAL:</b>                    |         |         |

Which **foot** was tested:  Left  Right

(i.e. which is the **non-dominant** foot)



## ANEXO 2: Sport Concussion Assessment Tool 5th Edition

**BJSM Online First, published on April 26, 2017 as 10.1136/bjsports-2017-097506SCAT5**

To download a clean version of the SCAT tools please visit the journal online (<http://dx.doi.org/10.1136/bjsports-2017-097506SCAT5>)

# SCAT5

## SPORT CONCUSSION ASSESSMENT TOOL – 5TH EDITION

DEVELOPED BY THE CONCUSSION IN SPORT GROUP  
FOR USE BY MEDICAL PROFESSIONALS ONLY

supported by



FIFA



FEI

### Patient details

Name: \_\_\_\_\_  
DOB: \_\_\_\_\_  
Address: \_\_\_\_\_  
ID number: \_\_\_\_\_  
Examiner: \_\_\_\_\_  
Date of Injury: \_\_\_\_\_ Time: \_\_\_\_\_

### WHAT IS THE SCAT5?

The SCAT5 is a standardized tool for evaluating concussions designed for use by physicians and licensed healthcare professionals'. The SCAT5 cannot be performed correctly in less than 10 minutes.

If you are not a physician or licensed healthcare professional, please use the Concussion Recognition Tool 5 (CRT5). The SCAT5 is to be used for evaluating athletes aged 13 years and older. For children aged 12 years or younger, please use the Child SCAT5.

Preseason SCAT5 baseline testing can be useful for interpreting post-injury test scores, but is not required for that purpose. Detailed instructions for use of the SCAT5 are provided on page 7. Please read through these instructions carefully before testing the athlete. Brief verbal instructions for each test are given in italics. The only equipment required for the tester is a watch or timer.

**This tool may be freely copied in its current form for distribution to individuals, teams, groups and organizations. It should not be altered in any way, re-branded or sold for commercial gain. Any revision, translation or reproduction in a digital form requires specific approval by the Concussion in Sport Group.**

### Recognise and Remove

A head impact by either a direct blow or indirect transmission of force can be associated with a serious and potentially fatal brain injury. If there are significant concerns, including any of the red flags listed in Box 1, then activation of emergency procedures and urgent transport to the nearest hospital should be arranged.

### Key points

- Any athlete with suspected concussion should be REMOVED FROM PLAY, medically assessed and monitored for deterioration. No athlete diagnosed with concussion should be returned to play on the day of injury.
- If an athlete is suspected of having a concussion and medical personnel are not immediately available, the athlete should be referred to a medical facility for urgent assessment.
- Athletes with suspected concussion should not drink alcohol, use recreational drugs and should not drive a motor vehicle until cleared to do so by a medical professional.
- Concussion signs and symptoms evolve over time and it is important to consider repeat evaluation in the assessment of concussion.
- The diagnosis of a concussion is a clinical judgment, made by a medical professional. The SCAT5 should NOT be used by itself to make, or exclude, the diagnosis of concussion. An athlete may have a concussion even if their SCAT5 is "normal".

### Remember:

- The basic principles of first aid (danger, response, airway, breathing, circulation) should be followed.
- Do not attempt to move the athlete (other than that required for airway management) unless trained to do so.
- Assessment for a spinal cord injury is a critical part of the initial on-field assessment.
- Do not remove a helmet or any other equipment unless trained to do so safely.

## IMMEDIATE OR ON-FIELD ASSESSMENT

The following elements should be assessed for all athletes who are suspected of having a concussion prior to proceeding to the neurocognitive assessment and ideally should be done on-field after the first first aid / emergency care priorities are completed.

If any of the "Red Flags" or observable signs are noted after a direct or indirect blow to the head, the athlete should be immediately and safely removed from participation and evaluated by a physician or licensed healthcare professional.

Consideration of transportation to a medical facility should be at the discretion of the physician or licensed healthcare professional.

The GCS is important as a standard measure for all patients and can be done serially if necessary in the event of deterioration in conscious state. The Maddocks questions and cervical spine exam are critical steps of the immediate assessment; however, these do not need to be done serially.

### STEP 1: RED FLAGS

#### RED FLAGS:

- Neck pain or tenderness
- Double vision
- Weakness or tingling/burning in arms or legs
- Severe or increasing headache
- Seizure or convulsion
- Loss of consciousness
- Deteriorating conscious state
- Vomiting
- Increasingly restless, agitated or combative

### STEP 2: OBSERVABLE SIGNS

Witnessed  Observed on Video

|  | Y | N |
|--|---|---|
| Lying motionless on the playing surface  | Y | N |
| Balance / gait difficulties / motor incoordination: stumbling, slow / laboured movements | Y | N |
| Disorientation or confusion, or an inability to respond appropriately to questions       | Y | N |
| Blank or vacant look   | Y | N |
| Facial injury after head trauma  | Y | N |

### STEP 3: MEMORY ASSESSMENT MADDOCKS QUESTIONS<sup>2</sup>

"I am going to ask you a few questions, please listen carefully and give your best effort. First, tell me what happened?"

|  | Y | N |
|--|---|---|
| What venue are we at today?              | Y | N |
| Which half is it now?                    | Y | N |
| Who scored last in this match?           | Y | N |
| What team did you play last week / game? | Y | N |
| Did your team win the last game?         | Y | N |

Note: Appropriate sport-specific questions may be substituted.

Name: \_\_\_\_\_  
 DOB: \_\_\_\_\_  
 Address: \_\_\_\_\_  
 ID number: \_\_\_\_\_  
 Examiner: \_\_\_\_\_  
 Date: \_\_\_\_\_

### STEP 4: EXAMINATION GLASGOW COMA SCALE (GCS)<sup>3</sup>

| Time of assessment                    |   |   |   |
|---------------------------------------|---|---|---|
| Date of assessment                    |   |   |   |
| <b>Best eye response (E)</b>          |   |   |   |
| No eye opening                        | 1 | 1 | 1 |
| Eye opening in response to pain       | 2 | 2 | 2 |
| Eye opening to speech                 | 3 | 3 | 3 |
| Eyes opening spontaneously            | 4 | 4 | 4 |
| <b>Best verbal response (V)</b>       |   |   |   |
| No verbal response                    | 1 | 1 | 1 |
| Incomprehensible sounds               | 2 | 2 | 2 |
| Inappropriate words                   | 3 | 3 | 3 |
| Confused                              | 4 | 4 | 4 |
| Oriented                              | 5 | 5 | 5 |
| <b>Best motor response (M)</b>        |   |   |   |
| No motor response                     | 1 | 1 | 1 |
| Extension to pain                     | 2 | 2 | 2 |
| Abnormal flexion to pain              | 3 | 3 | 3 |
| Flexion / Withdrawal to pain          | 4 | 4 | 4 |
| Localizes to pain                     | 5 | 5 | 5 |
| Obeys commands                        | 6 | 6 | 6 |
| <b>Glasgow Coma score (E + V + M)</b> |   |   |   |

### CERVICAL SPINE ASSESSMENT

|   |   |   |
|---|---|---|
| Does the athlete report that their neck is pain free at rest?   | Y | N |
| If there is <b>NO</b> neck pain at rest, does the athlete have a full range of ACTIVE pain free movement? | Y | N |
| Is the limb strength and sensation normal?  | Y | N |

**In a patient who is not lucid or fully conscious, a cervical spine injury should be assumed until proven otherwise.**

## OFFICE OR OFF-FIELD ASSESSMENT

Please note that the neurocognitive assessment should be done in a distraction-free environment with the athlete in a resting state.

### STEP 1: ATHLETE BACKGROUND

Sport / team / school: \_\_\_\_\_

Date / time of injury: \_\_\_\_\_

Years of education completed: \_\_\_\_\_

Age: \_\_\_\_\_

Gender: M / F / Other

Dominant hand: left / neither / right

How many diagnosed concussions has the athlete had in the past?: \_\_\_\_\_

When was the most recent concussion?: \_\_\_\_\_

How long was the recovery (time to being cleared to play) from the most recent concussion?: \_\_\_\_\_ (days)

#### Has the athlete ever been:

|   | Yes | No |
|---|-----|----|
| Hospitalized for a head injury?                         |     |    |
| Diagnosed / treated for headache disorder or migraines? |     |    |
| Diagnosed with a learning disability / dyslexia?        |     |    |
| Diagnosed with ADD / ADHD?                              |     |    |

Current medications? If yes, please list:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Name: \_\_\_\_\_

DOB: \_\_\_\_\_

Address: \_\_\_\_\_

ID number: \_\_\_\_\_

Examiner: \_\_\_\_\_

Date: \_\_\_\_\_

2

### STEP 2: SYMPTOM EVALUATION

The athlete should be given the symptom form and asked to read this instruction paragraph out loud then complete the symptom scale. For the baseline assessment, the athlete should rate his/her symptoms based on how he/she typically feels and for the post injury assessment the athlete should rate their symptoms at this point in time.

Please Check:  Baseline  Post-Injury

Please hand the form to the athlete

|                      | none | mild | moderate | severe |   |   |   |
|----------------------|------|------|----------|--------|---|---|---|
| Headache             | 0    | 1    | 2        | 3      | 4 | 5 | 6 |
| "Pressure in head"   | 0    | 1    | 2        | 3      | 4 | 5 | 6 |
| Neck Pain            | 0    | 1    | 2        | 3      | 4 | 5 | 6 |
| Nausea or vomiting   | 0    | 1    | 2        | 3      | 4 | 5 | 6 |
| Dizziness            | 0    | 1    | 2        | 3      | 4 | 5 | 6 |
| Blurred vision       | 0    | 1    | 2        | 3      | 4 | 5 | 6 |
| Balance problems     | 0    | 1    | 2        | 3      | 4 | 5 | 6 |
| Sensitivity to light | 0    | 1    | 2        | 3      | 4 | 5 | 6 |
| Sensitivity to noise | 0    | 1    | 2        | 3      | 4 | 5 | 6 |

|  |   |   |   |   |   |   |   |
|--|---|---|---|---|---|---|---|
| "Don't feel right"                     | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Difficulty concentrating               | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Difficulty remembering                 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Fatigue or low energy                  | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Confusion                              | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Drowsiness                             | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| More emotional                         | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Irritability                           | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Sadness                                | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Nervous or Anxious                     | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Trouble falling asleep (if applicable) | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |

Total number of symptoms: \_\_\_\_\_ of 22

Symptom severity score: \_\_\_\_\_ of 132

Do your symptoms get worse with physical activity? Y N

Do your symptoms get worse with mental activity? Y N

If 100% is feeling perfectly normal, what percent of normal do you feel?

If not 100%, why?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Please hand form back to examiner

© Concussion in Sport Group 2017

Davis GA, et al. *Br J Sports Med* 2017;0:1–8. doi:10.1136/bjsports-2017-097506SCAT5

### STEP 3: COGNITIVE SCREENING Standardised Assessment of Concussion (SAC)<sup>a</sup>

#### ORIENTATION

|  |             |   |
|--|-------------|---|
| What month is it?                          | 0           | 1 |
| What is the date today?                    | 0           | 1 |
| What is the day of the week?               | 0           | 1 |
| What year is it?                           | 0           | 1 |
| What time is it right now? (within 1 hour) | 0           | 1 |
| <b>Orientation score</b>                   | <b>of 5</b> |   |

#### IMMEDIATE MEMORY

The Immediate Memory component can be completed using the traditional 5-word per trial list or optionally using 10-words per trial to minimise any ceiling effect. All 3 trials must be administered irrespective of the number correct on the first trial. Administer at the rate of one word per second.

Please choose EITHER the 5 or 10 word list groups and circle the specific word list chosen for this test.

I am going to test your memory. I will read you a list of words and when I am done, repeat back as many words as you can remember, in any order. For Trials 2 & 3: I am going to repeat the same list again. Repeat back as many words as you can remember in any order, even if you said the word before.

| List                                      | Alternate 5 word lists |        |         |          |        | Score (of 5) |         |         |
|---|------------------------|--------|---------|----------|--------|--------------|---------|---------|
|   |                        |        |         |          |        | Trial 1      | Trial 2 | Trial 3 |
| A   | Finger                 | Penny  | Blanket | Lemon    | Insect |              |         |         |
| B   | Candle                 | Paper  | Sugar   | Sandwich | Wagon  |              |         |         |
| C   | Baby                   | Monkey | Perfume | Sunset   | Iron   |              |         |         |
| D   | Elbow                  | Apple  | Carpet  | Saddle   | Bubble |              |         |         |
| E   | Jacket                 | Arrow  | Pepper  | Cotton   | Movie  |              |         |         |
| F   | Dollar                 | Honey  | Mirror  | Saddle   | Anchor |              |         |         |
| <b>Immediate Memory Score</b>             |                        |        |         |          |        | <b>of 15</b> |         |         |
| <b>Time that last trial was completed</b> |                        |        |         |          |        |              |         |         |

| List                                      | Alternate 10 word lists |        |         |          |        | Score (of 10) |         |         |
|---|-------------------------|--------|---------|----------|--------|---------------|---------|---------|
|   |                         |        |         |          |        | Trial 1       | Trial 2 | Trial 3 |
| G   | Finger                  | Penny  | Blanket | Lemon    | Insect |               |         |         |
|   | Candle                  | Paper  | Sugar   | Sandwich | Wagon  |               |         |         |
| H   | Baby                    | Monkey | Perfume | Sunset   | Iron   |               |         |         |
|   | Elbow                   | Apple  | Carpet  | Saddle   | Bubble |               |         |         |
| I   | Jacket                  | Arrow  | Pepper  | Cotton   | Movie  |               |         |         |
|   | Dollar                  | Honey  | Mirror  | Saddle   | Anchor |               |         |         |
| <b>Immediate Memory Score</b>             |                         |        |         |          |        | <b>of 30</b>  |         |         |
| <b>Time that last trial was completed</b> |                         |        |         |          |        |               |         |         |

Name: \_\_\_\_\_  
 DOB: \_\_\_\_\_  
 Address: \_\_\_\_\_  
 ID number: \_\_\_\_\_  
 Examiner: \_\_\_\_\_  
 Date: \_\_\_\_\_

#### CONCENTRATION

##### DIGITS BACKWARDS

Please circle the Digit list chosen (A, B, C, D, E, F). Administer at the rate of one digit per second reading DOWN the selected column.

I am going to read a string of numbers and when I am done, you repeat them back to me in reverse order of how I read them to you. For example, if I say 7-1-9, you would say 9-1-7.

| Concentration Number Lists (circle one) |             |             |             |   |   |
|---|-------------|-------------|-------------|---|---|
| List A                                  | List B      | List C      |             |   |   |
| 4-9-3                                   | 5-2-0       | 1-4-2       | Y           | N | 0 |
| 6-2-9                                   | 4-1-5       | 6-5-8       | Y           | N | 1 |
| 3-8-1-4                                 | 1-7-9-5     | 6-8-3-1     | Y           | N | 0 |
| 3-2-7-9                                 | 4-9-6-8     | 3-4-8-1     | Y           | N | 1 |
| 6-2-9-7-1                               | 4-8-5-2-7   | 4-9-1-5-3   | Y           | N | 0 |
| 1-5-2-8-6                               | 6-1-8-4-3   | 6-8-2-5-1   | Y           | N | 1 |
| 7-1-8-4-6-2                             | 8-3-1-9-6-4 | 3-7-6-5-1-9 | Y           | N | 0 |
| 5-3-9-1-4-8                             | 7-2-4-8-5-6 | 9-2-6-5-1-4 | Y           | N | 1 |
| <b>Digits Score:</b>                    |             |             | <b>of 4</b> |   |   |
| List D                                  | List E      | List F      |             |   |   |
| 7-8-2                                   | 3-8-2       | 2-7-1       | Y           | N | 0 |
| 9-2-6                                   | 5-1-8       | 4-7-9       | Y           | N | 1 |
| 4-1-8-3                                 | 2-7-9-3     | 1-6-8-3     | Y           | N | 0 |
| 9-7-2-3                                 | 2-1-6-9     | 3-9-2-4     | Y           | N | 1 |
| 1-7-9-2-6                               | 4-1-8-6-9   | 2-4-7-5-8   | Y           | N | 0 |
| 4-1-7-5-2                               | 9-4-1-7-5   | 8-3-9-6-4   | Y           | N | 1 |
| 2-6-4-8-1-7                             | 6-9-7-3-8-2 | 5-8-6-2-4-9 | Y           | N | 0 |
| 8-4-1-9-3-5                             | 4-2-7-9-3-8 | 3-1-7-8-2-6 | Y           | N | 1 |
| <b>Digits Score:</b>                    |             |             | <b>of 4</b> |   |   |

#### MONTHS IN REVERSE ORDER

Now tell me the months of the year in reverse order. Start with the last month and go backward. So you'll say December, November. Go ahead.

Dec - Nov - Oct - Sept - Aug - Jul - Jun - May - Apr - Mar - Feb - Jan      0 1

**Months Score**      **of 1**

**Concentration Total Score (Digits + Months)**      **of 5**

4

### STEP 4: NEUROLOGICAL SCREEN

See the instruction sheet (page 7) for details of test administration and scoring of the tests.

|   |   |   |
|---|---|---|
| Can the patient read aloud (e.g. symptom checklist) and follow instructions without difficulty?             | Y | N |
| Does the patient have a full range of pain-free PASSIVE cervical spine movement?                            | Y | N |
| Without moving their head or neck, can the patient look side-to-side and up-and-down without double vision? | Y | N |
| Can the patient perform the finger nose coordination test normally?   | Y | N |
| Can the patient perform tandem gait normally?   | Y | N |

### BALANCE EXAMINATION

#### Modified Balance Error Scoring System (mBESS) testing<sup>5</sup>

Which foot was tested (i.e. which is the non-dominant foot)  Left  Right  
 Testing surface (hard floor, field, etc.) \_\_\_\_\_  
 Footwear (shoes, barefoot, braces, tape, etc.) \_\_\_\_\_

| Condition                                     | Errors       |
|---|--------------|
| Double leg stance                             | of 10        |
| Single leg stance (non-dominant foot)         | of 10        |
| Tandem stance (non-dominant foot at the back) | of 10        |
| <b>Total Errors</b>                           | <b>of 30</b> |

Name: \_\_\_\_\_  
 DOB: \_\_\_\_\_  
 Address: \_\_\_\_\_  
 ID number: \_\_\_\_\_  
 Examiner: \_\_\_\_\_  
 Date: \_\_\_\_\_

5

### STEP 5: DELAYED RECALL:

The delayed recall should be performed after 5 minutes have elapsed since the end of the Immediate Recall section. Score 1 pt. for each correct response.

*Do you remember that list of words I read a few times earlier? Tell me as many words from the list as you can remember in any order.*

Time Started  

Please record each word correctly recalled. Total score equals number of words recalled.

\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Total number of words recalled accurately:   of 5 or   of 10

6

### STEP 6: DECISION

| Domain                          | Date & time of assessment: |                    |                    |
|---------------------------------|----------------------------|--------------------|--------------------|
|                                 |                            |                    |                    |
| Symptom number (of 22)          |                            |                    |                    |
| Symptom severity score (of 132) |                            |                    |                    |
| Orientation (of 5)              |                            |                    |                    |
| Immediate memory                | of 15 of 30                | of 15 of 30        | of 15 of 30        |
| Concentration (of 5)            |                            |                    |                    |
| Neuro exam                      | Normal<br>Abnormal         | Normal<br>Abnormal | Normal<br>Abnormal |
| Balance errors (of 30)          |                            |                    |                    |
| Delayed Recall                  | of 5 of 10                 | of 5 of 10         | of 5 of 10         |

Date and time of injury: \_\_\_\_\_

If the athlete is known to you prior to their injury, are they different from their usual self?  
 Yes  No  Unsure  Not Applicable  
 (If different, describe why in the clinical notes section)

Concussion Diagnosed?  
 Yes  No  Unsure  Not Applicable

If re-testing, has the athlete improved?  
 Yes  No  Unsure  Not Applicable

**I am a physician or licensed healthcare professional and I have personally administered or supervised the administration of this SCAT5.**

Signature: \_\_\_\_\_

Name: \_\_\_\_\_

Title: \_\_\_\_\_

Registration number (if applicable): \_\_\_\_\_

Date: \_\_\_\_\_

**SCORING ON THE SCAT5 SHOULD NOT BE USED AS A STAND-ALONE METHOD TO DIAGNOSE CONCUSSION, MEASURE RECOVERY OR MAKE DECISIONS ABOUT AN ATHLETE'S READINESS TO RETURN TO COMPETITION AFTER CONCUSSION.**

**CLINICAL NOTES:**

---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---

Name: \_\_\_\_\_  
 DOB: \_\_\_\_\_  
 Address: \_\_\_\_\_  
 ID number: \_\_\_\_\_  
 Examiner: \_\_\_\_\_  
 Date: \_\_\_\_\_



**CONCUSSION INJURY ADVICE**

**(To be given to the person monitoring the concussed athlete)**

This patient has received an injury to the head. A careful medical examination has been carried out and no sign of any serious complications has been found. Recovery time is variable across individuals and the patient will need monitoring for a further period by a responsible adult. Your treating physician will provide guidance as to this timeframe.

**If you notice any change in behaviour, vomiting, worsening headache, double vision or excessive drowsiness, please telephone your doctor or the nearest hospital emergency department immediately.**

Other important points:

**Initial rest: Limit physical activity to routine daily activities (avoid exercise, training, sports) and limit activities such as school, work, and screen time to a level that does not worsen symptoms.**

- 1) Avoid alcohol
- 2) Avoid prescription or non-prescription drugs without medical supervision. Specifically:
  - a) Avoid sleeping tablets
  - b) Do not use aspirin, anti-inflammatory medication or stronger pain medications such as narcotics
- 3) Do not drive until cleared by a healthcare professional.
- 4) Return to play/sport requires clearance by a healthcare professional.

Clinic phone number: \_\_\_\_\_  
 Patient's name: \_\_\_\_\_  
 Date / time of injury: \_\_\_\_\_  
 Date / time of medical review: \_\_\_\_\_  
 Healthcare Provider: \_\_\_\_\_

© Concussion in Sport Group 2017

Contact details or stamp

## INSTRUCTIONS

Words in *italics* throughout the SCAT5 are the instructions given to the athlete by the clinician

### Symptom Scale

The time frame for symptoms should be based on the type of test being administered. At baseline it is advantageous to assess how an athlete "typically" feels whereas during the acute/post-acute stage it is best to ask how the athlete feels at the time of testing.

The symptom scale should be completed by the athlete, not by the examiner. In situations where the symptom scale is being completed after exercise, it should be done in a resting state, generally by approximating his/her resting heart rate.

For total number of symptoms, maximum possible is 22 except immediately post injury, if sleep item is omitted, which then creates a maximum of 21.

For Symptom severity score, add all scores in table, maximum possible is 22 x 6 = 132, except immediately post injury if sleep item is omitted, which then creates a maximum of 21x6=126.

### Immediate Memory

The Immediate Memory component can be completed using the traditional 5-word per trial list or, optionally, using 10-words per trial. The literature suggests that the Immediate Memory has a notable ceiling effect when a 5-word list is used. In settings where this ceiling is prominent, the examiner may wish to make the task more difficult by incorporating two 5-word groups for a total of 10 words per trial. In this case, the maximum score per trial is 10 with a total trial maximum of 30.

Choose one of the word lists (either 5 or 10). Then perform 3 trials of immediate memory using this list.

Complete all 3 trials regardless of score on previous trials.

*"I am going to test your memory. I will read you a list of words and when I am done, repeat back as many words as you can remember, in any order."* The words must be read at a rate of one word per second.

Trials 2 & 3 MUST be completed regardless of score on trial 1 & 2.

Trials 2 & 3:

*"I am going to repeat the same list again. Repeat back as many words as you can remember in any order, even if you said the word before."*

Score 1 pt. for each correct response. Total score equals sum across all 3 trials. Do NOT inform the athlete that delayed recall will be tested.

### Concentration

#### Digits backward

Choose one column of digits from lists A, B, C, D, E or F and administer those digits as follows:

Say: *"I am going to read a string of numbers and when I am done, you repeat them back to me in reverse order of how I read them to you. For example, if I say 7-1-9, you would say 9-1-7."*

Begin with first 3 digit string.

If correct, circle "Y" for correct and go to next string length. If incorrect, circle "N" for the first string length and read trial 2 in the same string length. One point possible for each string length. Stop after incorrect on both trials (2 N's) in a string length. The digits should be read at the rate of one per second.

#### Months in reverse order

*"Now tell me the months of the year in reverse order. Start with the last month and go backward. So you'll say December, November ... Go ahead"*

1 pt. for entire sequence correct

#### Delayed Recall

The delayed recall should be performed after 5 minutes have elapsed since the end of the Immediate Recall section.

*"Do you remember that list of words I read a few times earlier? Tell me as many words from the list as you can remember in any order."*

Score 1 pt. for each correct response

### Modified Balance Error Scoring System (mBESS)<sup>3</sup> testing

This balance testing is based on a modified version of the Balance Error Scoring System (BESS)<sup>3</sup>. A timing device is required for this testing.

Each of 20-second trial/stance is scored by counting the number of errors. The examiner will begin counting errors only after the athlete has assumed the proper start position. The modified BESS is calculated by adding one error point for each error during the three 20-second tests. The maximum number of errors for any single condition is 10. If the athlete commits multiple errors simultaneously, only

one error is recorded but the athlete should quickly return to the testing position, and counting should resume once the athlete is set. Athletes that are unable to maintain the testing procedure for a minimum of five seconds at the start are assigned the highest possible score, ten, for that testing condition.

OPTION: For further assessment, the same 3 stances can be performed on a surface of medium density foam (e.g., approximately 50cm x 40cm x 6cm).

#### Balance testing – types of errors

- |                                 |   |   |
|---------------------------------|---|---|
| 1. Hands lifted off iliac crest | 3. Step, stumble, or fall                 | 5. Lifting forefoot or heel               |
| 2. Opening eyes                 | 4. Moving hip into > 30 degrees abduction | 6. Remaining out of test position > 5 sec |

*"I am now going to test your balance. Please take your shoes off (if applicable), roll up your pant legs above ankle (if applicable), and remove any ankle taping (if applicable). This test will consist of three twenty second tests with different stances."*

(a) Double leg stance:

*"The first stance is standing with your feet together with your hands on your hips and with your eyes closed. You should try to maintain stability in that position for 20 seconds. I will be counting the number of times you move out of this position. I will start timing when you are set and have closed your eyes."*

(b) Single leg stance:

*"If you were to kick a ball, which foot would you use? [This will be the dominant foot] Now stand on your non-dominant foot. The dominant leg should be held in approximately 30 degrees of hip flexion and 45 degrees of knee flexion. Again, you should try to maintain stability for 20 seconds with your hands on your hips and your eyes closed. I will be counting the number of times you move out of this position. If you stumble out of this position, open your eyes and return to the start position and continue balancing. I will start timing when you are set and have closed your eyes."*

(c) Tandem stance:

*"Now stand heel-to-toe with your non-dominant foot in back. Your weight should be evenly distributed across both feet. Again, you should try to maintain stability for 20 seconds with your hands on your hips and your eyes closed. I will be counting the number of times you move out of this position. If you stumble out of this position, open your eyes and return to the start position and continue balancing. I will start timing when you are set and have closed your eyes."*

### Tandem Gait

Participants are instructed to stand with their feet together behind a starting line (the test is best done with footwear removed). Then, they walk in a forward direction as quickly and as accurately as possible along a 38mm wide (sports tape), 3 metre line with an alternate foot heel-to-toe gait ensuring that they approximate their heel and toe on each step. Once they cross the end of the 3m line, they turn 180 degrees and return to the starting point using the same gait. Athletes fail the test if they step off the line, have a separation between their heel and toe, or if they touch or grab the examiner or an object.

### Finger to Nose

*"I am going to test your coordination now. Please sit comfortably on the chair with your eyes open and your arm (either right or left) outstretched (shoulder flexed to 90 degrees and elbow and fingers extended), pointing in front of you. When I give a start signal, I would like you to perform five successive finger to nose repetitions using your index finger to touch the tip of the nose, and then return to the starting position, as quickly and as accurately as possible."*

### References

1. McCrory et al. Consensus Statement On Concussion In Sport – The 5th International Conference On Concussion In Sport Held In Berlin, October 2016. British Journal of Sports Medicine 2017 (available at www.bjsm.bmj.com)
2. Maddocks, DL, Dicker, GD, Saling, MM. The assessment of orientation following concussion in athletes. Clinical Journal of Sport Medicine 1995; 5: 32-33
3. Jennett, B., Bond, M. Assessment of outcome after severe brain damage: a practical scale. Lancet 1975; i: 480-484
4. McCrea M. Standardized mental status testing of acute concussion. Clinical Journal of Sport Medicine. 2001; 11: 176-181
5. Guskiewicz KM. Assessment of postural stability following sport-related concussion. Current Sports Medicine Reports. 2003; 2: 24-30

## CONCUSSION INFORMATION

**Any athlete suspected of having a concussion should be removed from play and seek medical evaluation.**

### Signs to watch for

Problems could arise over the first 24-48 hours. The athlete should not be left alone and must go to a hospital at once if they experience:

- Worsening headache
- Drowsiness or inability to be awakened
- Inability to recognize people or places
- Repeated vomiting
- Unusual behaviour or confusion or irritable
- Seizures (arms and legs jerk uncontrollably)
- Weakness or numbness in arms or legs
- Unsteadiness on their feet.
- Slurred speech

**Consult your physician or licensed healthcare professional after a suspected concussion. Remember, it is better to be safe.**

### Rest & Rehabilitation

After a concussion, the athlete should have physical rest and relative cognitive rest for a few days to allow their symptoms to improve. In most cases, after no more than a few days of rest, the athlete should gradually increase their daily activity level as long as their symptoms do not worsen. Once the athlete is able to complete their usual daily activities without concussion-related symptoms, the second step of the return to play/sport progression can be started. The athlete should not return to play/sport until their concussion-related symptoms have resolved and the athlete has successfully returned to full school/learning activities.

When returning to play/sport, the athlete should follow a stepwise, medically managed exercise progression, with increasing amounts of exercise. For example:

### Graduated Return to Sport Strategy

| Exercise step                  | Functional exercise at each step   | Goal of each step  |
|--------------------------------|--|--|
| 1. Symptom-limited activity    | Daily activities that do not provoke symptoms.   | Gradual reintroduction of work/school activities.                  |
| 2. Light aerobic exercise      | Walking or stationary cycling at slow to medium pace. No resistance training.            | Increase heart rate.   |
| 3. Sport-specific exercise     | Running or skating drills. No head impact activities.                                    | Add movement.  |
| 4. Non-contact training drills | Harder training drills, e.g., passing drills. May start progressive resistance training. | Exercise, coordination, and increased thinking.                    |
| 5. Full contact practice       | Following medical clearance, participate in normal training activities.                  | Restore confidence and assess functional skills by coaching staff. |
| 6. Return to play/sport        | Normal game play.  |  |

In this example, it would be typical to have 24 hours (or longer) for each step of the progression. If any symptoms worsen while exercising, the athlete should go back to the previous step. Resistance training should be added only in the later stages (Stage 3 or 4 at the earliest).

**Written clearance should be provided by a healthcare professional before return to play/sport as directed by local laws and regulations.**

### Graduated Return to School Strategy

Concussion may affect the ability to learn at school. The athlete may need to miss a few days of school after a concussion. When going back to school, some athletes may need to go back gradually and may need to have some changes made to their schedule so that concussion symptoms do not get worse. If a particular activity makes symptoms worse, then the athlete should stop that activity and rest until symptoms get better. To make sure that the athlete can get back to school without problems, it is important that the healthcare provider, parents, caregivers and teachers talk to each other so that everyone knows what the plan is for the athlete to go back to school.

**Note: If mental activity does not cause any symptoms, the athlete may be able to skip step 2 and return to school part-time before doing school activities at home first.**

| Mental Activity   | Activity at each step  | Goal of each step   |
|---|--|---|
| 1. Daily activities that do not give the athlete symptoms | Typical activities that the athlete does during the day as long as they do not increase symptoms (e.g. reading, texting, screen time). Start with 5-15 minutes at a time and gradually build up. | Gradual return to typical activities.                           |
| 2. School activities                                      | Homework, reading or other cognitive activities outside of the classroom.  | Increase tolerance to cognitive work.                           |
| 3. Return to school part-time                             | Gradual introduction of school-work. May need to start with a partial school day or with increased breaks during the day.  | Increase academic activities.                                   |
| 4. Return to school full-time                             | Gradually progress school activities until a full day can be tolerated.  | Return to full academic activities and catch up on missed work. |

If the athlete continues to have symptoms with mental activity, some other accommodations that can help with return to school may include:

- Starting school later, only going for half days, or going only to certain classes
- More time to finish assignments/tests
- Quiet room to finish assignments/tests
- Not going to noisy areas like the cafeteria, assembly halls, sporting events, music class, shop class, etc.
- Taking lots of breaks during class, homework, tests
- No more than one exam/day
- Shorter assignments
- Repetition/memory cues
- Use of a student helper/tutor
- Reassurance from teachers that the child will be supported while getting better

**The athlete should not go back to sports until they are back to school/learning, without symptoms getting significantly worse and no longer needing any changes to their schedule.**



## ANEXO 3: Consentimiento informado



### Consentimiento informado

#### **“Análisis biomecánico del equilibrio en atletas de combate con riesgo de conmoción cerebral.”**

El equilibrio es la capacidad que se tiene para mantener el cuerpo sobre los pies, este generalmente se ve afectado durante una conmoción cerebral. La recuperación completa del control postural después de la conmoción cerebral es un determinante importante de la disposición de un atleta para volver a la actividad competitiva. En este sentido, la evaluación biomecánica del equilibrio pretende brindar datos relevantes para el regreso oportuno del atleta a sus actividades.

El objetivo del estudio es determinar las variables cinéticas y cinemáticas que se correlacionan con las alteraciones del equilibrio presentes en atletas de combate con riesgo de conmoción cerebral y un grupo control a través del análisis biomecánico. Dicho estudio, tendrá una duración aproximada de 50 minutos y consistirá en 8 pruebas de equilibrio y toma de medidas antropométricas. Se le colocarán marcadores opto reflectantes en el cuerpo y se usarán cámaras infrarrojas para captar el movimiento. Por esto, el participante deberá portar ropa que no obstruya los marcadores (short o licra, uso de top para las mujeres y hombres sin camiseta). No existe ningún riesgo para la salud, salvo la posibilidad de reacción alérgica al adhesivo de los marcadores.

Los datos serán utilizados sólo para el estudio, y se guardará la confidencialidad de los participantes; en caso de que se detecte alguna anomalía la haremos de su conocimiento.

Usted puede decidir si participar o no del estudio y tiene derecho a salirse del mismo si así lo desea.

Yo \_\_\_\_\_ otorgo mi consentimiento para participar en el estudio **“Análisis biomecánico del equilibrio en atletas de combate con riesgo de conmoción cerebral.”**

#### **Datos del participante**

Nombre: \_\_\_\_\_

Fecha de nacimiento: \_\_\_\_\_ Teléfono: \_\_\_\_\_

Unidad de Biomecánica, Boulevard Juriquilla No. 3001, Juriquilla · CP 76230  
Querétaro, Qro. · (442) 192 61 20 ·  
<http://www.inb.unam.mx/unidades/biomecanica>.



Firma: \_\_\_\_\_ Fecha del Estudio: \_\_\_\_\_

**Evaluador**

Nombre: \_\_\_\_\_ Firma: \_\_\_\_\_

**Testigo 1**

Nombre: \_\_\_\_\_ Firma: \_\_\_\_\_

**Testigo 2**

Nombre: \_\_\_\_\_ Firma: \_\_\_\_\_

Unidad de Biomecánica, Boulevard Juriquilla No. 3001, Juriquilla · CP 76230  
Querétaro, Qro. · (442) 192 61 20 ·  
<http://www.inb.unam.mx/unidades/biomecanica>.

## ANEXO 4: Historia Clínica



### FICHA DE IDENTIFICACIÓN

|                            |                            |                            |
|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| NOMBRE: _____              | EDAD: _____                |                            |
| SEXO: _____                | FECHA DE NACIMIENTO: _____ | LUGAR DE NACIMIENTO: _____ |
| LUGAR DE RESIDENCIA: _____ | ESTADO CIVIL: _____        | NÚMERO DE HIJOS: _____     |
| ESCOLARIDAD: _____         | PROFESIÓN: _____           | HORARIO DE TRABAJO: _____  |
| OCUPACIÓN: _____           | RELIGIÓN: _____            |                            |
| DOMICILIO: _____           |                            |                            |
| TELÉFONO DE CASA: _____    | TELÉFONO MÓVIL: _____      |                            |
| CORREO ELECTRÓNICO: _____  |                            |                            |

### ANTECEDENTES PERSONALES NO PATOLÓGICOS

|                         |       |       |
|-------------------------|-------|-------|
| TABAQUISMO              | SI/NO | _____ |
| ALCOHOLISMO             | SI/NO | _____ |
| FARMACODEPENDENCIA      | SI/NO | _____ |
| PESO                    |       | _____ |
| TALLA                   |       | _____ |
| FRECUENCIA RESPIRATORIA |       | _____ |
| FRECUENCIA CARDIACA     |       | _____ |
| TENSIÓN ARTERIAL        |       | _____ |

### HISTORIA DEL DEPORTE

DEPORTE: \_\_\_\_\_ CLASIFICACIÓN: \_\_\_\_\_

INDUMENTARIA: \_\_\_\_\_

¿DESDE HACE CUÁNTO LO PRACTICAS? \_\_\_\_\_



INTENSIDAD DE ENTRENAMIENTO: \_\_\_\_\_DÍAS/SEMANA      \_\_\_\_\_HORAS/DÍA

SPARRING: SI/NO    FRECUENCIA:

FECHA DE ÚLTIMA COMPETENCIA: \_\_\_\_\_

FECHA DE PRÓXIMA COMPETENCIA: \_\_\_\_\_

**ANTECEDENTES PERSONALES PATOLÓGICOS**

- METABÓLICOS \_\_\_\_\_
- ONCOLÓGICOS \_\_\_\_\_
- CARDIOCIRCULATORIOS \_\_\_\_\_
- NEUROLÓGICOS \_\_\_\_\_
- PSIQUIÁTRICOS Y/O PSICOLÓGICOS \_\_\_\_\_
- REUMATOLÓGICOS \_\_\_\_\_
- OTROS \_\_\_\_\_

**ANTECEDENTES PATOLÓGICO FAMILIARES**

**PADECIMIENTO ACTUAL**

**ESPECÍFICAS**

- HIPOACUSIA      SI/NO \_\_\_\_\_
- VÉRTIGO      SI/NO \_\_\_\_\_
- MAREOS      SI/NO \_\_\_\_\_
- NISTAGMOS      SI/NO \_\_\_\_\_
- ALT. VISUALES      SI/NO \_\_\_\_\_
- NÁUSEAS Y VÓMITO      SI/NO \_\_\_\_\_
- PROBLEMAS EN EL EQUILIBRIO      SI/NO \_\_\_\_\_
- FRACTURAS      SI/NO \_\_\_\_\_
- ESGUINCES      SI/NO \_\_\_\_\_



DESGARRES MUSCULARES SI/NO \_\_\_\_\_

OTROS SI/NO \_\_\_\_\_

## ANEXO 5: Tabla de medidas antropométricas y evaluación clínica

|         |        |       |
|---------|--------|-------|
| Cabeza: | Talla: | Peso: |
|---------|--------|-------|

|                           | Derecho | Izquierdo |
|---------------------------|---------|-----------|
| Ancho de hombros          |         |           |
| Profundidad de hombros    |         |           |
| Codos                     |         |           |
| Muñecas                   |         |           |
| Longitud miembro superior |         |           |
| Longitud de brazos        |         |           |
| Longitud de antebrazos    |         |           |
| Ancho de caderas          |         |           |
| Profundidad de caderas    |         |           |
| Rodillas                  |         |           |
| Tobillos                  |         |           |
| Longitud de piernas       |         |           |

| Prueba "T" de equilibrio                  |   |
|---|---|
| Mantener 10s                              | 4 |
| Dudar ligeramente                         | 3 |
| Pierde el equilibrio más de una vez       | 2 |
| No es capaz de mantener en ningún momento | 1 |

| Marcha en Tándem |        |
|------------------|--------|
| Intento          | Tiempo |
| 1                |        |
| 2                |        |
| 3                |        |
| 4                |        |

| BESS                        | BPF | BPI | UPF | UPI | PTF | PTI |  |
|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| Abrir ojos                  |     |     |     |     |     |     |  |
| Levantar manos de caderas   |     |     |     |     |     |     |  |
| Pisar                       |     |     |     |     |     |     |  |
| Tropezar o caerse           |     |     |     |     |     |     |  |
| Levantar el antepié o talón |     |     |     |     |     |     |  |
| Abducir cadera en >30°      |     |     |     |     |     |     |  |
| Demorar > 5                 |     |     |     |     |     |     |  |
| <b>Total de errores</b>     |     |     |     |     |     |     |  |