



**COMPORTAMIENTO ANATÓMICO FUNCIONAL DE LOS MÚSCULOS DEL
TRONCO DURANTE EL LANZAMIENTO DE BALA PARALÍMPICO: ESTUDIO DE
CASOS**

LUZ EDITH PEREZ TREJOS

**Universidad del Valle
Escuela de Ciencias Básicas Médicas
Maestría en Ciencias Biomédicas
2019**

**COMPORTAMIENTO ANATÓMICO FUNCIONAL DE LOS MÚSCULOS DEL
TRONCO DURANTE EL LANZAMIENTO DE BALA PARALÍMPICO: ESTUDIO DE
CASOS**

LUZ EDITH PEREZ TREJOS, Ft.

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título
de:

Magister en Ciencias Biomédicas

Tutora

LESSBY GÓMEZ SALAZAR

Ft. MsC en Salud Ocupacional, PhD en Ciencias Biomédicas

Co- Tutora

SONIA OSORIO TORO

Ft. MsC en Ciencias Biomédicas

**Universidad del Valle
Escuela de Ciencias Básicas Médicas
Maestría en Ciencias Biomédicas
2019**

Nota de aceptación:

Firma del director

Firma del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por haberme permitido vivir éste proceso anhelado, por haberme guiado e iluminado en los momentos difíciles, por haberme dado la sabiduría para tomar las mejores decisiones, gracias a su infinita bondad he culminado uno de los procesos más importantes hasta hoy.

Éste trabajo es producto de la constancia y la perseverancia y va dedicado a mi madre Rosario Trejos, quién con su esfuerzo y tenacidad me enseñó a no darse por vencida y a dar la vida con amor profundo por el bienestar de la familia. Agradezco a mi abuela Inés Carpintero por hacer el papel de madre y haberme enseñado la bondad de corazón, la responsabilidad, el respeto y el compromiso. Ellas hicieron de mí lo que soy.

A mi familia por su gran e incondicional apoyo y por desear para mí lo mejor, siempre están con una palabra sabia y un buen consejo, gracias por enseñarme que la familia es primero. A mi novio Mauricio Marín por su paciencia durante el proceso, por esperar con amor y con una sonrisa siempre.

Agradezco a la Universidad del Valle por la formación que me brindó y el apoyo económico que me permitió realizar algunos procesos de la investigación. A mis amigos y compañeros de grupo María Isabel Pavas y Carlos Díaz por el conocimiento y el apoyo que me dieron durante el proceso.

Finalmente, agradezco a mis tutoras la doctora Lessby Gómez y la profesora Sonia Osorio por ser las guías académicas que me direccionaron para llevar a cabo los procesos investigativos, por la confianza, el apoyo y sobre todo la paciencia.

TABLA DE CONTENIDO

GLOSARIO

RESUMEN

1. INTRODUCCIÓN	14
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN	15
3. MARCO REFERENCIAL	18
3.1 Antecedentes	18
3.2 Marco contextual	20
3.3 Marco teórico	20
3.3.1 Teoría de la Acción Dinámica	20
3.4 Marco conceptual	21
3.4.1 Deporte paralímpico	22
3.4.2 Atletismo paralímpico	22
3.4.3 Clasificación médico funcional	22
3.4.4 Lanzamiento deportivo convencional	23
3.4.5 Lanzamiento de Bala convencional	23
3.4.6 Lanzamiento de Bala paralímpico	25
3.4.7 Anatomía de tronco	26
3.4.7.1 Dorso	27
• Columna vertebral	27
• Músculos propios del dorso	28
• Músculos del abdomen	30
• Anatomía funcional de la columna y el tronco	31
3.4.8 Electromiografía	33
3.4.9 Simulación computacional	35
3.4.9.1 AnyBody Modeling System	36

4. OBJETIVOS.....	38
4.1 Objetivo general	
4.2 Objetivos específicos	
5. METODOLOGÍA.....	39
5.1 Tipo de estudio.....	39
5.2 Población.....	39
5.2.1 Criterios de inclusión.....	39
5.2.2 Criterios de exclusión.....	40
5.3 Cuadro operacional de variables.....	40
5.4 Materiales y métodos.....	41
5.5 Fases del estudio.....	46
5.6 Consideraciones éticas.....	47
6. RESULTADOS.....	49
6.1 Caracterización demográfica y clínica de la población a estudio	49
6.2 Análisis cualitativo y eletromiográfico de los músculos de tronco involucrados en las fases del lanzamiento paralímpico de bala	50
6.3 Análisis mediante simulación computacional de la actividad muscular de tronco durante la ejecución del gesto deportivo	61
7. DISCUSIÓN.....	67
8. CONCLUSIONES.....	71
9. RECOMENDACIONES.....	72
10. BIBLIOGRAFÍA.....	73

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Movimientos de la columna y el tronco.....	32
Tabla 2. Pasos para la toma de datos.....	43
Tabla 3. Caracterización demográfica y clínica.....	50
Tabla 4. Descripción cualitativa de la actividad muscular de tronco por fases sujeto 1.....	51
Tabla 5. Actividad muscular por fases sujeto 1.....	52
Tabla 6 Descripción cualitativa de la actividad muscular de tronco por fases sujeto 2.....	54
Tabla 7. Actividad muscular por fases sujeto 2.....	54
Tabla 8. Descripción cualitativa de la actividad muscular de tronco por fases sujeto 3.....	57
Tabla 9. Actividad muscular por fases sujeto 3.....	57
Tabla 10. Descripción cualitativa de la actividad muscular de tronco por fases sujeto 4.....	59
Tabla 11. Actividad muscular por fases sujeto 4.....	60
Tabla 12. Actividad muscular por fases de un sujeto sin alteraciones musculares de tronco.....	66
Tabla 13. Actividad muscular por fases del modelo de simulación computacional.....	66

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fases del lanzamiento de bala convencional.....	25
Figura 2. Fases del lanzamiento de bala paralímpico.....	26
Figura 3. Vértebra y sus partes.....	27
Figura 4. Hueso Sacro.....	28
Figura 5. Músculos intrínsecos o propios del dorso.....	30
Figura 6. Músculos de la pared abdominal anterolateral.....	31
Figura 7. Interfaz de simulación computacional software AnyBody	36
Figura 8. Ubicación de marcadores en puntos anatómicos.....	45
Figura 9. Fase del lanzamiento sujeto 1.....	50
Figura 10. Registro EMG de la señal en bruto del lanzamiento sujeto 1.....	52
Figura 11. Registro de señal con RMS sujeto 1.....	53
Figura 12. Fase del lanzamiento sujeto 2.....	53
Figura 13. Registro EMG del lanzamiento sujeto 2.....	55
Figura 14. Registro de señal con RMS sujeto 2.....	55
Figura 15. Fase del lanzamiento sujeto 3.....	56
Figura 16. Registro EMG del lanzamiento sujeto 3.....	58
Figura 17. Registro de señal con RMS sujeto 3.....	58
Figura 18. Fase del lanzamiento Sujeto 4.....	59
Figura 19. Registro EMG del lanzamiento sujeto 4.....	60
Figura 20. Registro de señal con RMS sujeto 4.....	61
Figura 21. Gesto de lanzamiento modelo. A. Sujeto real B. Simulación computacional...62	
Figura 22. Actividad muscular durante el lanzamiento según simulación computacional	62

Figura 23. Actividad muscular del Recto Abdominal derecho A. AnyBody B. EMG.....	63
Figura 24. Actividad muscular del Oblicuo externo Abdominal izquierdo A. AnyBody B. EMG.....	64
Figura 25. Actividad muscular del EC Longuísimo derecho en A. AnyBody B. EMG.....	64
Figura 26. Actividad muscular del EC Iliocostal derecho en A. AnyBody B. EMG.....	65

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Consentimiento Informado.....	79
Anexo 2. Datos demográficos y clínicos.....	83
Anexo 3. Formato de Recolección de Datos Aspectos Cualitativos.....	84
Anexo 4. Protocolo VICON (Ubicación de marcadores reflectivos).....	86

GLOSARIO

ANATOMÍA FUNCIONAL: La anatomía funcional es el estudio de los componentes necesarios para lograr o ejecutar un movimiento o función humana. El conocimiento de la anatomía funcional será útil en una variedad de situaciones, por ejemplo, para diseñar un programa de ejercicios o de entrenamiento con pesas, para evaluar el potencial de lesión en un movimiento o deporte, o al establecer las técnicas de entrenamiento o actividades para los atletas. La consideración principal de la anatomía funcional no es la ubicación del músculo sino el movimiento producido por el músculo o el grupo muscular (1).

CLASIFICACIÓN EN DEPORTE PARALÍMPICO: La clasificación proporciona una estructura para la competencia justa o equitativa. Los deportistas que compiten en deporte paralímpico tienen una deficiencia que les producirá una desventaja competitiva en el deporte normalizado, por ello se utiliza un sistema que minimiza el impacto que las deficiencias tienen en el rendimiento deportivo. Éste sistema se denomina clasificación (2).

ELECTROMIOGRAFÍA: Es una técnica que detecta la actividad eléctrica generada por el paso del impulso nervioso que lleva a la despolarización de la membrana de la célula muscular durante la excitación; por lo tanto, es una medida indirecta de la actividad muscular (3).

SIMULACIÓN COMPUTACIONAL DEL SISTEMA LOCOMOTOR: Es un método de análisis de movimiento que permite simular y analizar los movimientos del ser humano usando una computadora de manera interactiva a través de software que generan modelos musculoesqueléticos. Un cuerpo humano se divide en segmentos conectados por articulaciones, cada uno de los segmentos actúa como una unidad mínima de movimiento (4).

RESUMEN

INTRODUCCIÓN: La anatomía funcional estudia la relación de los sistemas óseo, articular y muscular e identifica el comportamiento de dichos sistemas durante la ejecución de tareas como los gestos deportivos. Esos análisis son importantes para el mejoramiento de la técnica deportiva y la prevención de lesiones, entre otros aspectos. Sin embargo, son pocos los estudios que se reportan en población de deportistas con discapacidad, incluidos los lanzadores de bala. Los lanzamientos paralímpicos se realizan en silla o de pie, dependiendo la clasificación clínica y deportiva de cada participante. Durante el lanzamiento en silla, la estabilidad de la pelvis y tronco representan un factor importante para mantener la postura de la columna vertebral y facilitar el impulso requerido para el lanzamiento óptimo de la bala. Por esas razones es importante conocer si existen condiciones clínicas que afectan dicha estabilidad, por lo que es necesario tener más información acerca del comportamiento muscular (anatomía funcional) en esta población, que tome en consideración las particularidades de cada sujeto, por lo que este trabajo pretende aportar conocimiento en ese sentido.

OBJETIVO: Establecer el comportamiento anatómico funcional de los músculos del tronco durante el lanzamiento de bala paralímpico en deportistas de altos logros del Valle del Cauca.

METODOLOGÍA: Estudio descriptivo, tipo estudio de casos. Se evaluó la actividad muscular de tronco en atletas de lanzamiento paralímpico de bala. Población: 6 atletas paralímpicos con discapacidad física clases F51- F57, al aplicar los criterios de inclusión y exclusión, se excluyeron 2 deportistas. Se caracterizó la población por entrevista personal. Se utilizaron registros videográficos para el análisis cualitativo de la funcionalidad de los músculos del tronco durante el lanzamiento de bala paralímpico. La actividad eléctrica en el lanzamiento se tomó por electromiografía a los músculos Recto abdominal, oblicuo externo y el erector de la columna (iliocostal y longuísimo). Para el análisis por simulación computacional se utilizó el software AnyBody 6.0, se filmó con cámaras infrarrojas y se analizaron estructuras de interés. Se contó con el aval del comité de ética Institucional.

RESULTADOS: Los participantes fueron 2 del sexo masculino y 2 del sexo femenino, con las siguientes disfunciones: amputación transtibial izquierda, acortamiento femoral derecho, lesión medular nivel T11-T12 y nivel T3, T4 y T5. Clasificación médico-funcional F57, F55 y F54. El análisis cualitativo y electromiográfico de los músculos de tronco del Sujeto 1 presentó funcionalidad del tronco sin alteración. La EMG registró participación de todos los músculos evaluados. El sujeto 2 con acortamiento femoral, no presenta

alteración de tronco. En los resultados de EMG todos los músculos registraron actividad en diferentes tiempos según las fases de lanzamiento. Para el sujeto 3 con lesión medular T11-T12, a partir del análisis cualitativo se estimó que los músculos de la región lumbar no presentaron estimulación nerviosa y por ende la contracción muscular se encuentra disminuida o ausente. La EMG reflejó que todos los músculos evaluados se activaron, pero en muy baja proporción. En el sujeto 4 con nivel de lesión completa T3, T4 y T5, se estimó mediante el análisis cualitativo que la musculatura de gran parte del tronco se encuentra sin estímulo eléctrico nervioso, sin embargo, el registro de EMG determinó que los 4 músculos evaluados registraron actividad muscular, pero de amplitud baja durante las fases 1, 2 y 3. El análisis mediante simulación computacional de la actividad muscular de tronco durante la ejecución del gesto deportivo mostró similitudes con los resultados de EMG en 3 de los 4 músculos evaluados.

CONCLUSIONES: El análisis funcional cualitativo junto con EMG y simulación computacional, permiten tener un panorama más real de las acciones musculares en los deportistas paralímpicos durante la realización del gesto deportivo de lanzamiento. Es importante continuar con ésta línea de investigación, ampliándola a otros grupos musculares y en otras modalidades.

PALABRAS CLAVE: Athletes, Paralympics, Bullet throw, electromyography, Anybody, Trunk muscles

1. INTRODUCCIÓN

El deporte paralímpico inició como un evento celebrado en el año 1948 por el médico inglés Sir Ludwig Guttman, quien estableció actividades competitivas en las que participaron personas con lesión medular veteranos de la Segunda Guerra Mundial con como parte de un programa de rehabilitación para soldados en diferentes disciplinas deportivas. En Roma 1960 se implementó el nombre de “Juegos Paralímpicos” (5,6).

En la organización paralímpica, la población elegible para el desarrollo de actividades deportivas, es aquella con discapacidad física, visual e intelectual, además, a cada deportista se le da una clasificación médico – funcional, la cual consta de una letra (“F” o “T”) y dos números, lo que indica el tipo de discapacidad, el grado de afectación y el terreno en el que compiten; esto con el fin de que la competencia sea equitativa y se desarrolle en igualdad de condiciones (2,7). Dentro de las disciplinas deportivas paralímpicas se ubica el atletismo, que agrupa actividades como carreras, saltos, lanzamientos, marcha y pruebas combinadas. En la modalidad de lanzamientos los deportistas se clasifican como F51 a F57 y se incluyen estilos como martillo, disco, bala, jabalina, entre otros (8).

El gesto deportivo de lanzamiento paralímpico comprende las modalidades de lanzamiento en silla y en posición bípeda, ambas actividades implican una alta exigencia muscular para mantener la estabilidad corporal (9). Durante el lanzamiento en silla, la estabilidad se centra en el tronco y la pelvis por el amplio desplazamiento durante los movimientos de extensión, flexión anterior de tronco, inclinaciones laterales y rotaciones, exigiendo así la activación de músculos anteriores y posteriores del tronco para una adecuada ejecución del gesto deportivo (6,10).

A pesar de la relevancia del tronco para la ejecución del gesto deportivo en esta población, existe poca información acerca del comportamiento muscular (anatomía funcional) y la de los músculos del tronco durante el lanzamiento de bala paralímpico, por lo que este trabajo pretende aportar conocimiento en este sentido.

A continuación, se presenta los resultados obtenidos del proyecto “comportamiento anatómico funcional de los músculos del tronco durante el lanzamiento de bala paralímpico: estudio de casos”, desarrollado en atletas élite lanzadores de bala paralímpico del Valle del Cauca.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

El informe mundial sobre la discapacidad en 2011 de la Organización Mundial de la Salud OMS, estimó que más de mil millones de personas viven con algún tipo de discapacidad; es decir, alrededor del 15% de la población mundial, cifra mayor que la estimada por la OMS en 1970, aproximadamente el 10%(11). En Colombia el DANE en el 2005 reportó que el total de personas con limitaciones permanentes fue de 2´624.898 y al 2015 se encontró que fue de 3´051.217 representando un incremento. En Cali El 6.4% de los habitantes tienen algún tipo de discapacidad, es decir que 145.256 personas presentan limitaciones físicas o psicológicas y las edades más afectadas están entre los 49 y 79 años(12).

La Ley 582 de Junio 8 de 2000 en Colombia, define el deporte de personas con discapacidad como “el desarrollo de un conjunto de actividades que tienen como finalidad contribuir a la normalización integral de toda persona que sufra una limitación, ejecutado por entidades con el fin de promover y desarrollar programas y actividades de naturaleza deportiva competitiva, educativa, terapéutica o recreativa”(13).

García, L.(14) en una investigación que consistió en entrevistas personales a deportistas con discapacidad, logró concluir que el deporte trae consigo beneficios que mejoran su condición en general, según la opinión de ellos mismos, refiriendo además, beneficios a nivel del sistema locomotor, ya que mantiene los músculos con un tono y capacidad funcional adecuada, conserva de la flexibilidad de las articulaciones, permite una mayor autonomía y relación con el medio, mantiene íntegros los tejidos y previene el riesgo de lesiones.

Existen pocos estudios que hayan analizado el gesto deportivo de lanzamientos paralímpicos y menos aún en lanzadores de bala en situación de discapacidad, encontrándose solo los realizados por Chow y cols (15,16) en el 2000 y el 2003 en los que se realizó un análisis biomecánico de los lanzamientos de bala y jabalina, determinando algunos parámetros cinemáticos del gesto deportivo.

En el marco del Macroproyecto propuesto por los grupos Sinergia y Biomecánica de la Universidad del Valle denominado “Efecto de un programa de rehabilitación funcional apoyado en realidad virtual para la mejora de la estabilidad de tronco y la técnica deportiva de lanzadores de bala y jabalina paralímpicos del Valle del Cauca”, se desarrolló un trabajo de pregrado en fisioterapia que tuvo como objetivo describir la

cinemática del miembro superior y del tronco durante el lanzamiento de bala y jabalina en atletas paralímpicos que lanzan en silla, en las categorías F51 a F57 (6). En éste estudio se establecieron las fases del lanzamiento de bala paralímpico y se determinó, que los músculos del tronco fueron altamente solicitados para la ejecución de los movimientos durante el gesto (6). Al realizar actividades en posición sedente como en el caso de los lanzamientos, la estabilidad de pelvis y tronco representan un factor importante, dado que mantienen la estabilidad de la columna vertebral, ayudando a la generación y transferencia de energía a otras partes del cuerpo. Los deportistas paralímpicos de lanzamiento en silla, no realizan el impulso con los miembros inferiores como los deportistas convencionales, por lo que la transferencia de energía debe hacerse desde el tronco hacia el miembro superior del lanzamiento (17).

No obstante, el cómo participan los diversos grupos musculares del tronco y cómo es su activación durante la ejecución del gesto del lanzamiento de bala en deportistas paralímpicos, es un campo poco explorado, por lo que no se encuentra información que permita comprender las adaptaciones al gesto, derivadas de la patología de base y la individualidad en la ejecución técnica que realizan los deportistas en situación de discapacidad. Lo anterior es uno de los objetivos de la anatomía funcional, que es una rama de la anatomía que estudia la relación de los sistemas óseo, articular y muscular e identifica el comportamiento de dichos sistemas durante la ejecución de tareas como los gestos deportivos, para aportar con ello a la prevención de lesiones y la optimización de la técnica deportiva en ésta población.

Para el estudio de la funcionalidad muscular habitualmente se realiza el análisis cualitativo, que se fundamenta en la observación de un experto, que determina cuales grupos musculares se activan y cuales no y si su contracción es excéntrica o concéntrica dependiendo del movimiento que esté ejecutando el deportista. Sin embargo, éstas apreciaciones en deportistas con discapacidad no son suficientes, dado que sus condiciones clínicas no permiten una identificación real de cuál es la función muscular. Es por ello que se emplean otras herramientas como la Electromiografía de superficie (EMG) que se usa para detectar la actividad eléctrica generada por el paso del impulso nervioso asociado a la despolarización de membrana celular muscular durante la excitación, lo que lleva a proporcionar información indirecta de la actividad muscular (3), y de manera más reciente el uso de la simulación computacional que permite obtener información de actividad muscular basado en información cinemática y de captura de movimiento. Entre estos sistemas se encuentra el programa Anybody que permite simular el funcionamiento del cuerpo humano en conjunto con su entorno con una alta precisión (18,19).

Con base en lo anterior, el presente trabajo tiene como objetivo, caracterizar la anatomía funcional de los músculos del tronco en una población de lanzadores de bala paralímpicos de alto rendimiento, pertenecientes al programa de altos logros de Indervalle a partir del análisis cualitativo, electromiográfico y simulación computacional.

Este trabajo se realiza en conjunto entre el grupo de Biomecánica y el grupo Teblami de la Universidad del Valle y constituye un aporte al fortalecimiento de la investigación en anatomía y biomecánica en el campo deportivo. Este estudio pretende además ofrecer información a los entrenadores y personal médico que atiende ésta población, de manera que contribuya a una mejor orientación de sus planes de entrenamiento y prevención de lesiones para la protección de los deportistas y el mejoramiento en el rendimiento deportivo y la marca.

Por lo anterior planteado, se estableció una pregunta de investigación que buscó dar respuesta a dichas necesidades:

¿Cuál es el comportamiento anatómico funcional de los músculos del tronco durante el lanzamiento de bala paralímpico?

3. MARCO REFERENCIAL

3.1 ANTECEDENTES

Durante la revisión de la literatura, se hallaron algunos estudios en población paralímpica, estudios electromiográficos de la región del dorso y de simulación computacional de la misma área, los cuales permitieron dar una base científica para el desarrollo del presente estudio en relación a la funcionalidad anatómica de la región.

En un estudio reciente Rotawisky y cols (17), determinaron como objetivo describir la cinemática del miembro superior y tronco durante el lanzamiento de bala y jabalina en atletas paralímpicos, en el cual se realizó una descripción cualitativa y cuantitativa de la postura y los movimientos articulares de los segmentos mencionados y explicaron las fases del lanzamiento. Las fases para el lanzamiento de bala establecidas por los investigadores del estudio fueron: preparación del movimiento, construcción del movimiento, desplazamiento, descarga y recuperación. En la investigación lograron concluir que el lanzamiento demanda una gran exigencia muscular y que se debe considerar un programa de reforzamiento orientados a mejorar el rendimiento deportivo y a la prevención de lesiones.

En el año 2000 se realizó un estudio por Chow y cols (15), en el que se identificaron las características cinemáticas que están más estrechamente relacionadas con la clase médica de atletas paralímpicos en silla de ruedas y la distancia del lanzamiento de bala. Los investigadores lograron concluir que las velocidades de liberación de la bala alcanzados por los deportistas en silla de ruedas son menores al alcanzado por los deportistas élite sin discapacidad, esto puede deberse a la posición del tronco inclinado hacia adelante en el lanzamiento en la silla, por tanto, ellos deben esforzarse más para aumentar los ángulos y la altura de liberación de la bala para obtener mejores resultados. Los autores plantean la importancia de mantener una adecuada estabilidad del tronco durante el lanzamiento, lo que se podría conseguir con un adecuado trabajo muscular.

En el 2003 Chow y cols también realizaron un análisis cinemático a lanzadores de jabalina en silla de ruedas en el que midieron las características del lanzamiento del objeto. Concluyeron que el tronco es esencial en el rendimiento deportivo y la prevención de lesiones, por consiguiente, los atletas deben experimentar diversas técnicas para tener una postura erguida durante el lanzamiento y poner más énfasis en los movimientos del tronco(16).

Un estudio realizado por Lee y cols (20) en 2015, analizó la relación entre los factores de liberación (velocidad, altura y ángulo) y la distancia que alcanzó la bala durante el lanzamiento paralímpico. Los autores plantean que el gesto del lanzamiento es una actividad que involucra gran parte de la musculatura del cuerpo, por tanto en los lanzadores convencionales la contribución muscular en posición vertical debe provenir de los miembros inferiores, seguir con el tronco y finalizar con el miembro superior, mientras que los atletas que lanzan sentados requieren modificaciones en su técnica ya que los niveles de movimiento y frecuencia se ven afectados por la discapacidad y la fuerza debe salir desde el tronco hacia el miembro superior. Los autores concluyeron que la aplicación de los resultados de su estudio puede brindar información para los entrenamientos de velocidades y que se puede considerar realizar estudios acerca de la contribución articular de cada parte del cuerpo en la velocidad del disparo.

Un estudio realizado en atletas convencionales de lanzamiento de bala en 2009 en el que investigaron a través de actividad electromiográfica (EMG) los cambios en la potencia muscular y la activación neuromuscular de las extremidades inferiores durante el lanzamiento. Dentro de los resultados de la señal de EMG se logró observar una relación entre el rendimiento del lanzamiento de bala y la velocidad máxima de despegue, sin embargo, la señal varía según las fases del lanzamiento. Por tanto, los resultados de la señal de EMG muscular pueden registrar variaciones en cada fase del lanzamiento, y se pueden mostrar con mayor o menor actividad según el movimiento (21).

Hermann G (22) realizó una investigación denominada “Un estudio electromiográfico de los músculos seleccionados que participan en el lanzamiento de peso” que tuvo varios propósitos de investigación: 1. investigar mediante electromiografía las funciones del pectoral mayor, del deltoides, tríceps braquial y terete mayor al colocar el Disparo; 2. comparar los hallazgos del estudio electromiográfico con los hallazgos de un análisis mecánico de la ejecución del lanzamiento; y 3. comparar las acciones musculares y los patrones de movimiento de los lanzadores. En la mayoría de estudios electromiográficos, se ha analizado la contracción de los músculos durante los movimientos simples de flexión, extensión, abducción, aducción, rotación, inversión y eversión, o varias combinaciones de estos movimientos. En general, los hallazgos de este tipo de estudio electromiográfico están de acuerdo con los análisis kinesiológicos presentados por los anatomistas. Estos análisis se basan en los puntos de las uniones musculares y las líneas de tracción muscular.

Sin embargo, Hay algunas actividades que implican patrones de movimiento más complejos, en los resultados de éste estudio observaron que la actividad muscular se refleja según la fase del lanzamiento, incluso en algunas fases pueden no registrar

actividad hasta ciertas posiciones donde involucre la acción del musculo que le permita activarse (22).

3.2 MARCO CONTEXTUAL

El Instituto del Deporte, la Educación Física y la Recreación de Valle del Cauca - INDERVALLE es una institución que se ha propuesto Contribuir a la formación integral de la población vallecaucana, satisfaciendo necesidades respecto a la práctica del Deporte, la Educación Física y la Recreación, para integrar y facilitar componentes de: educación, salud y desarrollo social creando una cultura de vida; comprometiéndose con eficacia y eficiencia según la Constitución Nacional Colombiana, la Ley 181 de 1995, su Decreto Reglamentario 1822 de 1996 y la Ordenanza No. 022 de noviembre 26 de 1997(23).

Es un establecimiento público de orden departamental con autonomía administrativa y patrimonio independiente que hace parte del Sistema Nacional de Deporte en Colombia según Ley 181 de 1995. El 1ro de abril de 1999 entró en funcionamiento INDERVALLE con 57 funcionarios de la Junta de Deportes del Valle promovido por el gobernador Germán Villegas desde el año 1997 con la Ordenanza 022 de noviembre del mismo año, dándole vía jurídica a la Institución que cuenta con un gerente nombrado desde la gobernación. Su visión es Ser una entidad modelo en el desarrollo de programas de deporte, educación física y recreación, creando un Sistema Regional Deportivo, que nos convierta en líderes en el país con posicionamiento internacional(23).

Indervalle se ha establecido el propósito por ser reconocido por resaltar valores humanos, fe y autoestima, contribuir al fortalecimiento de la identidad vallecaucana, participar activamente en mejorar la calidad de vida de la población del Departamento, con servicios de alta calidad (23). INDERVALLE cuenta con 5 ligas para el deporte paralímpico que se clasifican según la discapacidad que presente el deportista, la liga de discapacidad visual, la liga de discapacidad auditiva, liga de deportistas limitados físicos, liga de discapacidad mental y liga de parálisis cerebral. Al 2017 el total de la población con discapacidad con la que cuentan todas las ligas son 286 deportistas, de los cuales 75 pertenecen a la modalidad de para-atletismo de campo y pista (17).

3.3 MARCO TEÓRICO

3.3.1 Teoría de la Acción Dinámica

Dado que la población presenta características funcionales diferentes, es natural pensar que el aprendizaje motor se realiza de forma diferente en cada uno, cada deportista toma

las pautas básicas del gesto deportivo de lanzamiento y realiza las adaptaciones según sus condiciones, para ellos el control de tronco es fundamental para la técnica. El aprendizaje motor se define como el conjunto de procesos internos asociados a la práctica y experiencia los cuales producen actividades motoras a través de habilidades específicas, es decir, el cerebro tiene la capacidad de almacenar las tareas aprendidas, por ende, se mantienen las habilidades ya aprendidas previamente y se trabaja en la adquisición de habilidades que no se tienen o se perdieron debido a alguna lesión, para ello existen diferentes modelos dentro de las teorías de aprendizaje motor (17).

La teoría de la acción dinámica, es un enfoque que observa al individuo en movimiento desde una nueva perspectiva, considerando que cuando un sistema de partes individuales se une, sus elementos se comportan de forma autoorganizada sin las instrucciones de un centro superior para lograr una tarea de forma coordinada; ésta teoría pretende hallar una representación de estos sistemas autoorganizados donde el comportamiento no es lineal, ya que si uno de los parámetros cambia el sistema crea un patrón de comportamiento completamente nuevo, esta perspectiva reduce la importancia de las nociones de comandos provenientes del SNC para controlar el movimiento y busca explicar a través de formulaciones matemática y físicas que pueden contribuir a las características del movimiento (24).

3.4 MARCO CONCEPTUAL

3.4.1 Deporte Paralímpico

El médico neurólogo Ludwin Guttmann en el año 1944, incluyó el deporte en los programas de rehabilitación en pacientes con lesión medular, puntualmente los veteranos de la segunda guerra mundial, participando por primera vez en los juegos Olímpicos de Londres en 1948, esto dio paso a al desarrollo organizacional de los primeros juego Paralímpicos Roma 1960. El deporte paralímpico tiene una estrecha relación con los deportes convencionales dado la similitud entre las estructuras administrativas, organizativas y técnicas, lo que representa un reconocimiento de igualdad de derechos y de logros(6).

Los deportistas paralímpicos para el desarrollo de una disciplina deportiva deben tener una clasificación médico-funcional que se basa en dos campos: la salud y el funcionamiento que es la más utilizada y el deporte que reduce la posibilidad de una competencia unilateral y promueve la participación. Además, para reducir el impacto del deterioro en la competencia, los sistemas deben describir los criterios para elegir a los

deportistas en términos de tipo de deterioro y severidad del deterioro. Otra estrategia de clasificación es describir los métodos para catalogar los impedimentos elegibles de acuerdo con el alcance de la limitación de la actividad que causan. El propósito de la clasificación se plantea para que aquellos atletas que van mejorando su rendimiento con el entrenamiento no sean reubicados en otra clase con atletas que tienen menos limitaciones como se haría en un sistema de clasificación convencional(23).

3.4.2 Atletismo Paralímpico

Los orígenes del atletismo convencional son muy antiguos e involucran habilidades motrices básicas del ser humano como correr, saltar y lanzar(17). Éste deporte como otras disciplinas deportivas han tenido adaptaciones con el fin de permitir la participación de personas con discapacidad. En el atletismo paralímpico se observa gran participación de deportistas masculinos y femeninos. Cada atleta compite según la clasificación funcional, algunos compiten en sillas de ruedas o de lanzamiento y otros lo hacen de pie(7).

Los eventos del programa de atletismo paralímpico incluyen carreras, maratones, eventos de campo (salto de altura, salto de longitud, triple salto, lanzamientos de: bala, disco, jabalina y martillo) algunos atletas compiten en silla, con prótesis o con la ayuda de un guía en el caso de discapacidad visual. Ésta modalidad hace parte de las competencias paralímpicas desde el año 1960 en Roma(7).

3.4.3 Clasificación medico funcional

La clasificación de los deportistas se basa en el tipo de deficiencia y grado de lesión, en atletismo se determinan 5 clasificaciones diferentes²³; Las categorías de las clasificaciones presentan dos dígitos, el primero indica el tipo de discapacidad funcional y el segundo es el grado de afectación. Además, anterior a los números se establece una letra T o F que indica el área de competencia donde se desarrolla la actividad, pista (Track) carreras y saltos, o campo (Field) lanzamientos(2).

- Clase 11-13: deportistas ciegos y con discapacidad visual
- Clase 20: discapacidad intelectual
- Clase 31-38: parálisis cerebral, algunos en silla de ruedas
- Clase 40-47: discapacidades físicas o con afectación en alguna extremidad o amputados
- Clase 51-57: comprenden corredores en silla de ruedas o lanzadores que compiten sentados.

3.4.4 Lanzamiento deportivo convencional

Los lanzamientos convencionales tienen como objetivo maximizar la distancia medida cubierta por el objeto lanzado. Para los atletas lo más importante son los tres parámetros de descarga: altura, velocidad y ángulo. Los movimientos para para los lanzamientos se dividen en cuatro fases:

- 1 Preparación
- 2 Construcción del momentum
- 3 Descarga
- 4 Recuperación

En la preparación el atleta toma el objeto y asume una posición para iniciar la construcción del momentum donde se inicia el movimiento. En la fase de descarga la velocidad es transferida desde el cuerpo del atleta al objeto. En la fase de recuperación, el atleta frena la velocidad y evita cometer un lanzamiento nulo (7,25).

3.4.5 Lanzamiento de bala convencional

Consiste en tirar una bola de metal (7.26kg / 16lb para los hombres, 4kg / 8.8lb para las mujeres) con una mano y lanzarla lo más lejos posible de un círculo de siete pies de diámetro (2.135m) que tiene una punta curva de 10 centímetros de alto en la parte delantera.

La bala no debe caer por debajo de la línea de los hombros del atleta en ninguna etapa del gesto deportivo y debe aterrizar dentro de un sector designado de 35 grados. El atleta no debe salir del círculo de lanzamiento antes de que la bola haya aterrizado.

El lanzamiento de bala tiene como objetivo sostener firme la bala. La técnica para el lanzamiento está determinada de la siguiente manera: apoyar la bala sobre los dedos y sobre la base de los mismos, ubicar la bala en la parte delantera del cuello, pulgar sobre la clavícula, codo hacia afuera en un ángulo de 45° con el cuerpo (26,27).

Las fases del lanzamiento de bala convencional están descritas de la siguiente manera (Figura 1):

1. Preparación: Prepararse para el desplazamiento, las características de ésta fase son:

- Pierna de apoyo flexionada mientras que la pierna libre es llevada hacia la parte posterior del círculo.

- Lanzador comienza erguido en la parte posterior del círculo de espalda a la tabla de contención.
- Tronco inclinado hacia adelante paralelo al suelo.
- Cuerpo equilibrado en el apoyo simple.

2. Construcción del momentum: Iniciar la aceleración y colocar el cuerpo para la acción final de empuje. Características de la técnica:

- El cuerpo se mueve desde la parte delantera del pie hacia el talón derecho, las caderas abandonan la posición de sentado.
- La pierna libre es impulsada baja, hacia la tabla de contención.
- La pierna de apoyo se entiende sobre su talón.
- La pierna de apoyo mantiene contacto con el suelo en la mayor parte del desplazamiento.
- Hombros perpendiculares a la parte posterior del círculo.

3. Fase de desplazamiento: Iniciar la aceleración y ubicar el cuerpo para la acción final del empuje.

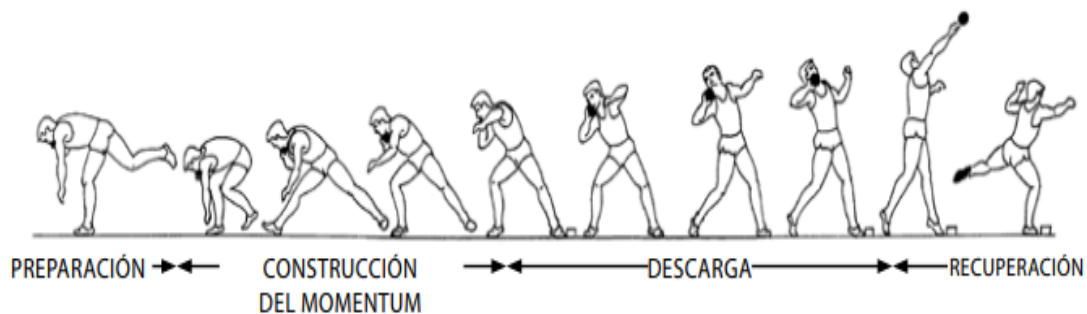
- Pie derecho desplaza sobre su talón y cae sobre el metatarso.
- Pie derecho se ubica en el centro del círculo.
- Los pies se apoyan casi simultáneamente, pie derecho primero.
- Pie izquierdo apoya sobre el metatarso y la parte interna del pie.
- La fase de descarga comienza cuando ambos pies caen al suelo luego del desplazamiento.

4. Descarga:

- Posición de fuerza: Mantener la velocidad de la bala y comenzar su principal aceleración.
 - El peso del cuerpo se traslada sobre el metatarso del pie derecho, rodilla derecha está flexionada.
 - Cadera y hombros en torsión.
 - Cabeza y brazo izquierdo bloqueado atrás.
 - Codo derecho en ángulo aproximado de 90° con el tronco.
- Aceleración principal: Transferir velocidad del lanzador a la bala.
 - Pierna derecha se extiende con un movimiento de rotación explosivo hasta que la cadera derecha apunte al frente del círculo.

- Pierna izquierda casi extendida y frenada, elevando al cuerpo (e influyendo en el ángulo de descarga).
 - El movimiento de torsión del tronco se encuentra bloqueado por el brazo y hombro izquierdo.
 - Codo derecho gira y se eleva en dirección al lanzamiento.
 - Peso del cuerpo se transfiere de la pierna derecha a la izquierda.
- Movimiento final del brazo; Transferir velocidad desde el lanzador a la bala.
- El golpe del brazo de lanzamiento comienza luego de la completa extensión de las piernas y el tronco.
 - El brazo izquierdo se flexiona y fija cerca del tronco.
 - La aceleración continúa por medio de la muñeca pre extendida (pulgar abajo, dedos giran hacia fuera luego de la descarga).
 - Los pies están en contacto con el suelo para la descarga.
 - Cabeza detrás del pie izquierdo (en acción de freno) hasta la descarga.
- 5. Recuperación:** Estabilizar al lanzador y evitar cometer un lanzamiento nulo.
- Piernas cambian rápidamente luego de la descarga.
 - Pierna derecha flexionada.
 - Parte superior del cuerpo descende.
 - Pierna izquierda balanceada hacia atrás.
 - Mirada hacia abajo.

Figura 1. Fases del lanzamiento de bala convencional (27)

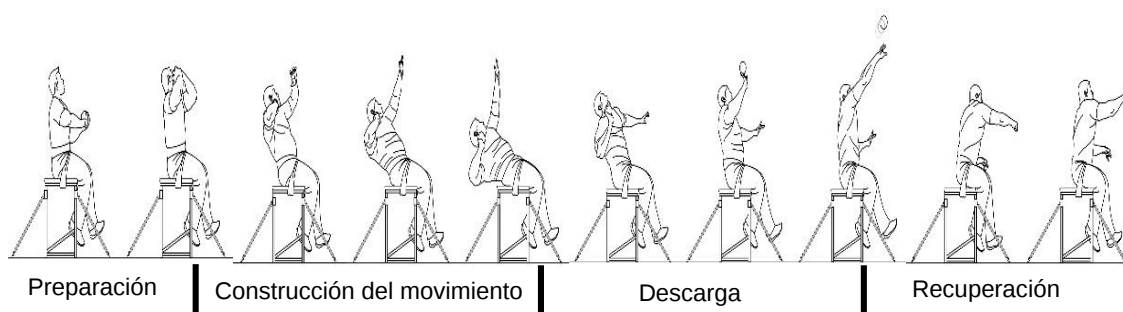


3.4.6 Lanzamiento de Bala paralímpico

Las Características de las fases de lanzamiento de bala paralímpico fueron descritas en un estudio previo realizado con deportistas lanzadores de élite de bala paralímpico en el 2017(17)

- Preparación del movimiento: El lanzador adopta la postura para iniciar el movimiento. El deportista está sentado, con el tronco erguido y coloca el implemento en la base de los dedos a nivel de la fosa claviclar.
- Construcción del movimiento: El lanzador y la bala aceleran al tiempo. El deportista realiza una Basculación de tronco hacia adelante y hacia atrás, preparándose para la siguiente fase.
- Desplazamiento: No hay fase de desplazamiento.
- Descarga: Objetivo: Mantener la velocidad de la bala y comenzar su principal aceleración. Incluye 3 posiciones:
 - Posición de fuerza: el tronco va hacia adelante hasta llegar hasta la posición frontal y rota hacia la izquierda mientras la hemipelvis derecha realiza anteversión.
 - Posición frontal: Objetivo: Transferir velocidad del lanzador a la bala. El tronco llega a posición erguida y la pelvis queda en neutro.
 - Lanzamiento: Objetivo: Transferir velocidad desde el lanzador a la bala. El tronco se inclina ligeramente hacia adelante, y se rota a la izquierda. La hemipelvis izquierda está en retroversión mientras que la derecha está en anteversion, comienza hacer descargas de peso hacia el lado izquierdo.
- Recuperación: Estabilizar al lanzador para evitar un lanzamiento nulo.

Figura 2. Fases del lanzamiento de bala paralímpico



3.4.7. Anatomía de Tronco

El tronco corresponde a la parte central del cuerpo entre la cabeza y los miembros inferiores, se hará una descripción de las estructuras óseas, articulares y musculares de ésta región:

3.4.7.1. DORSO

- Columna vertebral

La columna está constituida por alrededor de 33 o 34 vértebras organizadas por regiones: 7 cervicales, 12 torácicas, 5 lumbares, 5 sacras y 4 o 5 hacen parte del cóccix, cada una de las vértebras de las dos últimas regiones se fusionan entre sí. La columna vertebral presenta unas curvaturas naturales, cuando es cóncava hacia adelante se denomina cifosis (torácica y sacra) y cuando es convexa hacia adelante se denomina lordosis (cervical y lumbar), éstas curvaturas no se deben presentar muy pronunciadas ni presentar desviaciones laterales puesto que se hablaría de curvaturas patológicas o anormales(28–30).

- Vertebras

Todas las vértebras presentan características generales comunes entre ellas y particulares propios de cada región (figura 3). Las características comunes de las vértebras son cuerpo, arco vertebral, pedículos vertebrales en los extremos anteriores del arco vertebral, apófisis (procesos) dos transversas ubicadas a los lados derecho e izquierdo y una espinosa ubicada en la región media y posterior al arco vertebral. Finalmente se encuentran las apófisis (procesos) articulares, dos superiores y dos inferiores que se articulan con las vértebras suprayacentes y subyacentes (28,29)

Figura 3. Vértebra y sus partes

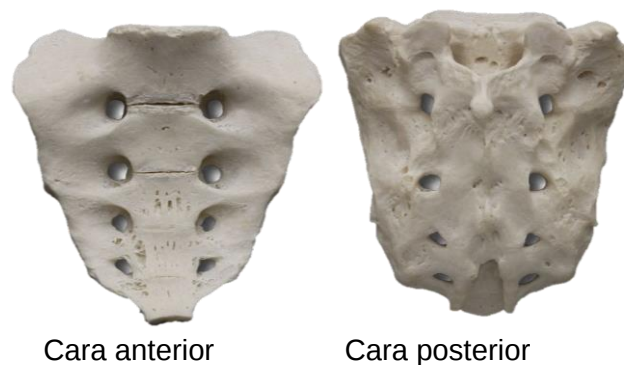


- Sacro

Está situado en la parte posterior de la pelvis entre los huesos iliacos formando la articulación sacroiliaca. Se distinguen cuatro caras (cara anterior, cara posterior y dos

caras laterales), una base y un vértice (figura 4). La cara anterior presenta las líneas transversales del sacro y los forámenes sacros anteriores. La cara posterior es irregular y presenta la cresta sacra media, la cresta intermedia y la cresta sacra lateral. Las caras laterales representan la carilla auricular que articula con el hueso coxal. La Base está constituida por una superficie oval que representa el cuerpo de la primera vértebra sacra, se observa un borde anterior saliente que corresponde al promontorio, a cada lado se observa una superficie triangular denominadas alas del sacro, y en el borde posterior de la base entre el cuerpo y las alas se encuentran las apófisis articulares que se articulan con las apófisis articulares inferiores de la quinta vértebra lumbar. El vértice se articula con la base cóncava del cóccix (28,29).

Figura 4. Hueso Sacro



– Cóccix

Resulta de la fusión de cuatro o cinco vertebrae atrofiadas. La vértebra coccígea superior presenta una cara anterior cóncava y una cara posterior convexa. La cara superior se articula con el vértice del sacro.

- Músculos propios del dorso

Se realizará una descripción de los músculos propios del dorso (figura 5) y de los músculos de la pared anterolateral de abdomen, y se describirá la funcionalidad de los mismos que permiten la estabilidad de la columna y los movimientos del tronco.

- Músculo erector de la columna:

Está constituido por los músculos iliocostal, longuísimo y el espinoso torácico. Tiene su origen en Espina iliaca anterosuperior y parte vecina del labio externo de la cresta iliaca. Cresta sacra lateral, Cresta sacra mediana y procesos espinosos LI a LV y TXI a TXII y ligamentos supraespinales adyacentes.

Músculo Iliocostal: es el músculo que constituye la parte lateral del músculo erector de la columna. Presenta tres porciones a lo largo de la columna: lumbar, torácica y cervical. La porción Lumbar se inserta en el ángulo de las costillas VI A VII. La porción torácica se origina en el borde superior del ángulo de las costillas VI y XII y se inserta en el borde superior del ángulo de las costillas I a V. y la porción cervical que presenta su origen en el ángulo de las costillas I a V y se inserta en los tubérculos posteriores de los procesos transversos CIV a CVI. Está innervado por los ramos posteriores de los nervios espinales entre el cuarto cervical y el tercer lumbar. Sus funciones son la extensión de la columna y la flexión lateral del cuerpo (28–30).

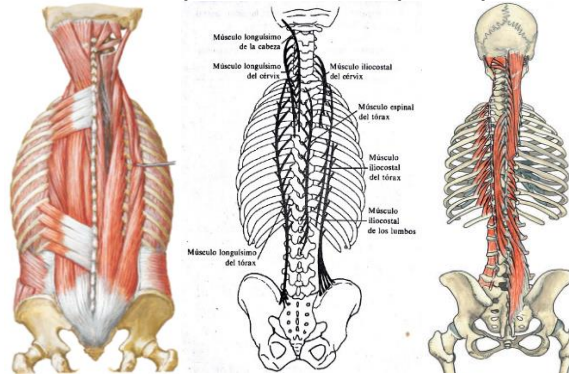
Musculo Longuísimo: Se origina en la zona medial del músculo erector de la columna. Sus inserciones son: En el tórax el borde inferior de las costillas III a XII, medialmente al ángulo y procesos transversos TIII a TXII. En la región cervical se originan en los procesos Transversos de TI a TV y se inserta en los tubérculos posteriores de los procesos transversos CII a CVII, y la porción de la cabeza se origina en las apófisis transversas de TIII a TI y de CVII a CIII y se inserta en la apófisis mastoides. Está innervado por los ramos posteriores de los nervios espinales entre el segundo cervical y el quinto lumbar. Su función es la erección del cuerpo (28–30).

Músculo espinoso: Se origina en las apófisis espinosas de las dos primeras vértebras lumbares y dos últimas torácicas y se inserta en las apófisis espinosas de las seis u ocho primeras vertebrae torácicas. Está innervado por los ramos posteriores de los nervios espinales entre el segundo cervical y el décimo torácico. Su función es la extensión de la columna(28–30).

- Multífidos:

Se extienden desde el hueso sacro hasta el axis. Se originan en la cara dorsal del hueso sacro, espina iliaca anterosuperior y cara anterior de la aponeurosis, procesos mamilares de las vértebras lumbares, procesos transversos de las vértebras torácicas y procesos interarticulares de las vértebras CIV a CVII. Su inserción se presenta en el borde inferior de la lámina y del proceso espinoso de LV a CII. La innervación está provista por los ramos posteriores de los nervios espinales correspondientes al nivel matemático donde se encuentran estos músculos. Para la acción de estos músculos se entiende que la contracción bilateral produce extensión de la columna y la contracción unilateral generan una rotación contralateral (28–30).

Figura 5. Músculos intrínsecos o propios del dorso (30,31)



- Músculos del abdomen:

El soporte muscular lo brindan las cinco vértebras lumbares y ambos arcos costales que sirven de inserción a los músculos abdominales. Los músculos del abdomen (figura 6) funcionan como una prensa que permite forzar la espiración máxima y a su vez brindan una buena contención a las vísceras abdominales (28–30).

- Músculos recto abdominal: El origen se divide en tres lengüetas: la lengüeta lateral se fija en el borde inferior del 5° cartílago costal, la lengüeta media en el borde inferior del 6° cartílago costal, la lengüeta medial en el borde inferior del 7° cartílago costal y apófisis xifoides del esternón. Su inserción se presenta sobre el cuerpo del pubis, entre la espina y la sínfisis. Es innervado por los ramos ventrales de los nervios espinales de TVI o TVII a XII. Su principal función es ser Flexor del tronco y elevador de la pelvis.
- Oblicuo externo del abdomen: se origina en la cara externa de la 5° a la 12° costilla. Se inserta en la cresta iliaca, ligamento inguinal vaina del recto del abdomen y línea alba. Es innervado por los ramos ventrales de los nervios espinales TVII a XII. Tiene como funciones ser flexor del tronco, inflexor lateral del tronco, rotador heterolateral del tronco, controlador indirecto de la presión intraabdominal y elevador de la pelvis.
- Oblicuo Interno del abdomen: Se ubica más profundo al músculo Oblicuo externo del abdomen y sus fibras son en dirección opuesta al mismo, se origina en el proceso transversario de las 5 vértebras lumbares a través de la fascia toracolumbar, parte anterior de la cresta ilíaca y tercio lateral del ligamento inguinal. Se inserta en el borde inferior de los cartílagos costales 10° a 12°, en la línea alba y en la hoz inguinal. Es innervado por los ramos ventrales de los nervios espinales TVII a LI. La función es ser flexor accesorio del tronco, inflexor lateral y rotador homolateral del tronco.

- **Músculo transverso del abdomen:** recibe su nombre por la disposición de las fibras, Presenta diversos orígenes, entre esos está la cara interna de las costillas 11° y 12°, fascia toracolumbar, labio interno de la cresta iliaca y tercio lateral del ligamento inguinal. Se inserta en la línea alba y la hoz inguinal. La inervación está dada por los ramos ventrales de los nervios espinales TVI a LI. Su acción principal es controlar la presión intraabdominal.

Figura 6. Músculos de la pared abdominal anterolateral (32)



- **Anatomía Funcional de la columna y el tronco (28)**
 - **Estática vertebral:** El equilibrio de las vértebras y el mantenimiento del mismo durante los movimientos o el esfuerzo depende de la forma o del encaje a nivel de las apófisis articulares, de la solidaridad intervertebral dada por las articulaciones y de la musculatura vertebral.
 - **Acción de la musculatura:** Estudios de electromiografía demuestran que la actividad muscular es débil en posición de pie, ya que la persona no mantiene esa posición por mucho tiempo desplazándose de forma imperceptible, lo que exige un pequeño gasto. Sin embargo, los mismos estudios demuestran que se necesita una actividad muscular importante para mantener el tronco recto en posición sedente, las personas que presentan debilidad o poca masa muscular tienden a inclinarse hacia adelante en ésta posición, lo que puede provocar cansancio en las articulaciones posteriores y manifestarse con dolor como lumbalgias.
 - **Movimientos de la columna vertebral:** Puede realizar 5 movimientos: flexión, extensión, inclinación lateral, rotación y circunducción.

Tabla 1. Movimientos de la columna y el tronco

MOVIMIENTO DE LA COLUMNA	MECANISMO ARTICULAR	ACCIONES MUSCULARES
FLEXIÓN	- Separación de las apófisis espinosas. - Aplastamiento del disco intervertebral en su parte anterior - Deslizamiento de las apófisis articulares entre sí.	Está asegurada por los músculos abdominales (rectos, oblicuos y transversos) tienen una acción preponderante.
EXTENSIÓN	- Acercamiento de las apófisis espinosas. - Aplastamiento del disco intervertebral en su parte posterior - Contacto de las apófisis articulares de las vértebras adyacentes lo que hace limitado el movimiento.	Se realiza con la participación de los músculos erectores de la columna.
INCLINACIÓN LATERAL	En éste movimiento el disco se aplasta en su parte lateral, se separa del lado opuesto y se realiza un desplazamiento de las superficies articulares posteriores. Este movimiento está limitado, del lado donde se inclina la columna por el contacto entre la apófisis articular inferior con la raíz de la apófisis transversa de la vértebra subyacente.	- Músculos intertransversos - Músculo espinoso torácico - Contracción unilateral del músculo erector de la columna
ROTACIÓN	Considerando dos vértebras subyacentes, el movimiento es muy pequeño. Está limitado por la forma de las apófisis articulares y de sus superficies.	- Contracción unilateral del músculo transversoespinosos lleva el tronco hacia el lado opuesto - Los músculos longuísimo torácico e iliocostal orientan el tronco hacia el lado q se contraen
CIRCUNDUCCIÓN	Resulta de la combinación de los movimientos anteriores	

3.4.8 Electromiografía

La Electromiografía (EMG) es la técnica que mide de forma indirecta la actividad muscular registrando el potencial eléctrico que es generado por la despolarización de la membrana externa de la fibra muscular. La forma para detectar la señal se puede realizar a través de aguja intramuscular o electrodos superficiales. La EMG de aguja se ha usado en estudios que observan daño a nivel de la fibra muscular como la denervación, la reinervación y las miopatías, mientras que la electromiografía de superficie (EMGS) es más adecuada para observar comportamiento muscular como la activación o la fatiga (3,33,34).

La electromiografía de superficie (EMGS) permite estudiar el comportamiento muscular en un instante de un movimiento o postura y conocer la relación y la coordinación de los músculos entre sí. En ella se puede analizar el tiempo de activación muscular durante una actividad determinada, es decir cuando se activa o cuando se desactiva (on-off) y el comportamiento de esa actividad es decir la amplitud de la señal. La activación muscular produce una señal que es captada por los electrodos, sin embargo, hay algunas señales catalogadas como ruido, como factores ambientales y del equipo de registro, otra posibilidad de ruido puede ser el “*cross talk*” que sería la posibilidad de que se capte la señal de otro músculo adyacente (3).

Para el posicionamiento de los electrodos es importante tener claridad en los puntos de ubicación y la dirección de los mismos sobre la piel, de manera que sea en el vientre muscular para captar mayor señal, el electrodo debe ser posicionado en la misma dirección a las fibras del músculo. Luego de obtener la señal se debe amplificar y filtrar, en general se filtran con un paso alto (entre 5 y 20 Hz) y un paso bajo (inferior a 500 Hz), Posteriormente se realiza el cálculo de la RMS (*root mean square*) o media cuadrática, la cual mide el poder eléctrico de la señal electromiográfica. La RMS es una medida estadística de la magnitud de una cantidad variable. Es una fórmula que representa la potencia de la señal (3,35).

La electromiografía ha sido utilizada y aplicada para obtener información muscular en diferentes actividades como lo son análisis de gesto deportivo, análisis de marcha, evaluar fatiga muscular, evaluación del rendimiento deportivo, valoraciones de trastornos neuromusculares, entre otras (35).

La evaluación electromiográfica debe seguir unos pasos o fases para la adquisición de la información muscular, entre ellas está la fase de preparación del individuo donde se le da información sobre el procedimiento y se le explica las actividades que debe realizar, la fase dos es la preparación de la piel para reducir la impedancia y poder obtener una señal eléctrica de mejor calidad, la fase 3 es la fase de colocación de los electrodos, fase

cuatro obtención de la contracción máxima voluntaria (CMV), la fase cinco es la adquisición de la señal correspondiente a la acción determinada por el estudio y la fase 6 corresponde al procesado de la señal con el fin de que sea observable y analizable (35)

En una revisión literaria realizada por la autora Swinnen E. y cols, referente al registro electromiográfico de superficie de la actividad eléctrica de los músculos del tronco durante el análisis de la marcha en sujetos sanos, revisaron la correcta ubicación de los electrodos en los diferentes músculos y las variaciones que presentan entre las diversas investigaciones. Se examinaron los siguientes músculos de la espalda: M. erector de la espina (ES), M. multifidos (MF), M. latísimo del dorso (LD), M. trapecio (TRAP), M. Cuadrado lumbar (QL) Se registraron los siguientes músculos abdominales: M. recto abdominal (RA) M. oblicuo externo (OE), M. oblicuo interno (OI), M. transverso del abdomen (TA), M. iliopsoas (ILIO). Los músculos evaluados con electrodos de superficie fueron todos excepto el músculo cuadrado lumbar y el transverso del abdomen. La mayoría de los estudios brindan una descripción vaga o solo informan que los electrodos se colocaron sobre el vientre muscular o con una distancia específica entre electrodos (36):

- Músculo ES:
 - electrodos colocados a diferentes niveles C7 - L5.
 - Distancia entre electrodos: 3 cm, 2.5 cm, 2.3 cm, 2.1 cm, 2 cm, 1.2 cm y 1 cm
 - Se implantaron electrodos de alambre fino con una distancia entre electrodos de 2 cm
- Músculos MF (muchos protocolos de ubicación)
 - Medial desde la EIPS y el primer proceso espinal lumbar palpable
 - Los electrodos de superficie se colocaron con una distancia entre electrodos de 2,5 cm
 - Los electrodos de alambre fino se colocaron a 2 cm de distancia
- Músculo LD y TRAP:
 - La ubicación del electrodo de superficie para el LD se describió como sobre el vientre muscular
- Músculo QL:
 - Electrodos de alambre fino: 2 cm separados, 1 y 2 cm laterales a la EIPS
- Músculo RA: (varió con algunos investigadores)
 - Los electrodos se ubicaron a nivel del ombligo 2, 3 y 4 cm lateralmente
 - El alambre fino 1 o 2 cm lateral a la línea alba
- Músculo OE
 - Los electrodos de superficie se colocaron justo debajo de la caja torácica en el ángulo inferior de la costilla
 - La distancia entre electrodos para el OE fue de 1 o 2.5cm

- Los electrodos de alambre fino se colocaron a 2 cm de distancia y 2 cm a lo largo del margen costal inferior entre las líneas axilar anterior y media clavicular
- Músculo OI:
 - Los electrodos de superficie se colocaron a 1 o 2 cm inferior y medialmente a la EIAS
 - La distancia entre electrodos para el OI fue de 1 o 2.5cm
 - Los electrodos de alambre fino se colocaron separados 2 cm de distancia

Los autores concluyeron que todos los estudios incluidos midieron uno o más músculos del tronco al caminar en sujetos sanos, además, observaron que hubo una gran variación en los protocolos y objetivos de los estudios y que los datos EMG informados en los estudios individuales no fueron comparables. (Por ejemplo por el tipo de zapatos, diferentes velocidades al caminar, variaciones en la colocación de los electrodos, variaciones en protocolos y diferencias en los objetivos) (36).

La Electromiografía se utiliza para muchas aplicaciones, pero la metodología utilizada suele ser muy diferente lo que dificulta el uso generalizado de la técnica, por lo que la estandarización es esencial. El proyecto SENIAM (Electromiografía de superficie para la evaluación no invasiva de músculos) es una acción establecida en el Programa de investigación y salud biomédica (BIOMED II) de la Unión Europea. SENIAM ha dado lugar a recomendaciones europeas para sensores, procedimientos de colocación de sensores y métodos de procesamiento de señales para EMGS (37).

3.4.9 Simulación computacional para el análisis del movimiento

Un avance en la tecnología de mediados del siglo pasado fueron las computadoras, éstas han permitido resolver problemas en diversos campos en períodos cortos de tiempo. Actualmente las ciencias informáticas, a través de la simulación computacional, facilitan la resolución de problemas complejos, permiten compartir información, controlar procesos y realizar otras funciones relacionadas con muchas ramas del saber(38).

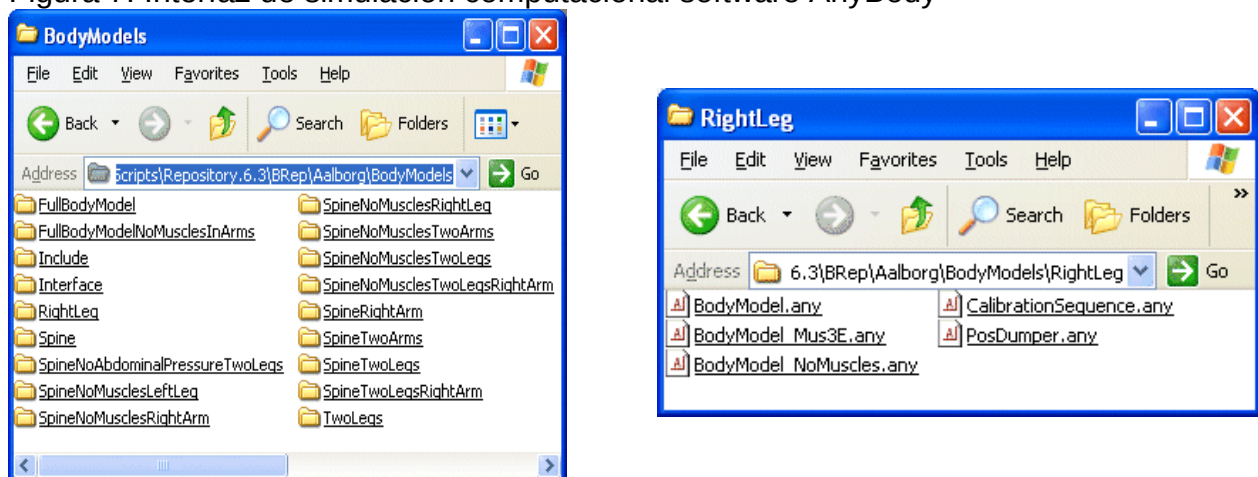
La simulación computacional consiente en generar modelos que facilitan el análisis del rendimiento deportivo, la identificación de movimiento patológico, entre otros análisis para implementar bases científicas para la planificación de tratamientos. El software de simulación permite generar simulaciones dinámicas con gran variedad de movimientos. Estos programas son ampliamente usados en biomecánica para analizar gestos específicos (39).

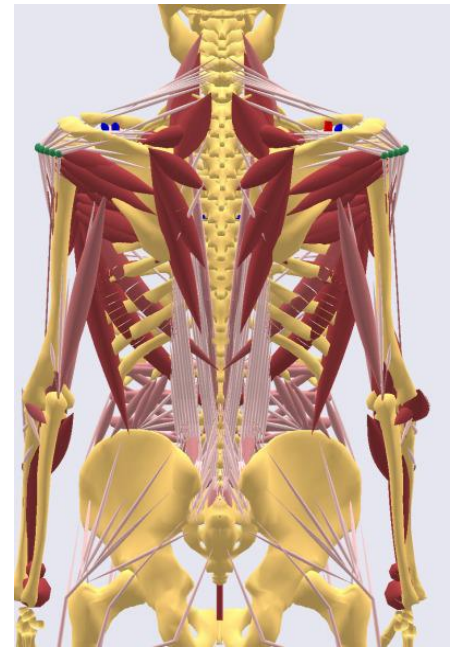
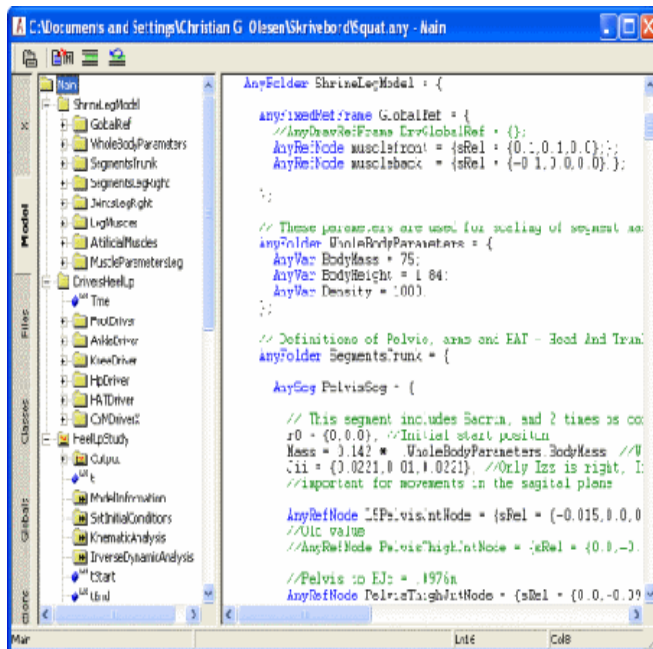
3.4.9.1 AnyBody Modeling System

El sistema de modelado AnyBody es un sistema de software para Windows que simula el funcionamiento del cuerpo humano en relación con su entorno. Con AnyBody puede ejecutar simulaciones avanzadas para calcular: Fuerzas musculares individuales, fuerzas de contacto conjuntas y momentos, metabolismo, energía elástica en los tendones y acción muscular antagonista. El sistema de modelado AnyBody permite implantar modelos musculoesqueléticos precisos y hacer simulaciones a través de computadora que integran el cuerpo humano en el diseño de un producto. Las características del sistema de modelado AnyBody incluyen: Análisis musculoesquelético de las actividades diarias, sistema autónomo y robusto, guía para uso interactivo, dinámica inversa, cinemática dependiente de la fuerza, predicción de postura y movimiento, interfaz con C3D, BVH y FEA, consola para procesamiento por lotes (19).

AnyBody fue iniciado en la Universidad de Aalborg para la fabricación de modelos musculoesqueléticos con el propósito de cumplir cuatro objetivos: 1. Ser una herramienta que permita a los usuarios construir modelos desde cero o modificar modelos existentes y adaptarlos a diferentes propósitos, 2. Debe facilitar el intercambio de modelos, 3. Debe tener suficiencia numérica para optimizar el diseño ergonómico en computadores de bajo costo, 4. Manejar modelos del cuerpo realistas. El modelado de AnyBody se realiza a través de una entrada basada en texto, por lo que se desarrolló un lenguaje especial denominado AnyScript orientado al desarrollo de modelos musculoesqueléticos, contiene la definición del sistema mecánico, el cuerpo y las condiciones del entorno, además contiene las listas de análisis y otras operaciones que se le pueden realizar al modelo (Figura 7). El modelo del cuerpo contiene segmentos, articulaciones, músculos y otros datos anatómicos que permiten adaptarlos a la antropometría del cuerpo evaluado (40).

Figura 7. Interfaz de simulación computacional software AnyBody





Un estudio realizado por Ji y cols en el que usaron el sistema de modelado humano AnyBody durante la realización de un ejercicio denominado press de banca (levantamiento de peso con una barra en posición supino sobre un banco) con pesos idénticos y distancia de agarre de la barra variable (40.0 cm, 50.0 cm y 60.0 cm), se simuló la distribución de la tensión para el músculo pectoral y algunos músculos de la extremidad superior, además realizaron una validación con la prueba diagnóstica de activación muscular electromiografía superficial (EMGS). Dentro de los resultados del estudio se encontró que la validación del software AnyBody presentó una alta validez al realizar la comparación con la EMG de la actividad de los músculos (18).

Otro estudio de validación de AnyBody con Electromiografía, es el realizado por Kunze M. y cols, cuyo objetivo estuvo enfocado en comparar actividades musculares entre las calculadas por la simulación computacional con el software AnyBody y las obtenidas a través de electromiografía EMG tanto de superficie como de aguja o alambre fino. Las mediciones la realizaron en el músculo deltoides acromial, llevando el miembro superior a tres ángulos diferentes de abducción (45°, 90°, 135°) y a tres cargas diferentes (0, 1Kg, 2Kg). En los resultados obtenidos por los autores, lograron establecer que los valores de EMG de superficie y la EMG de alambre fino fueron comparables entre ellos siendo los valores de la EMG de superficie un poco más altos. Al comparar los resultados de la actividad muscular de AnyBody con la EMG, observaron que los resultados se asemejan a la realidad. Los autores sugieren que se necesitan mejoras en el modelo para representar mejor las líneas de acción muscular durante movimientos de gran alcance (41).

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Establecer el comportamiento anatómico funcional de los músculos del tronco durante el lanzamiento de bala paralímpico en deportistas de altos logros del Valle del Cauca.

4.2 Objetivos específicos

1. Caracterizar demográfica y clínicamente la población a estudio
2. Analizar cualitativamente los músculos involucrados en las fases de ejecución gesto del lanzamiento paralímpico de bala
3. Describir a partir de electromiografía la activación de los músculos recto abdominal, oblicuo externo y erector de la columna durante el gesto deportivo
4. Establecer mediante simulación computacional la actividad de los músculos recto abdominal, oblicuo externo y erector de la columna durante el gesto deportivo

5. METODOLOGÍA

5.1 TIPO DE ESTUDIO:

Estudio descriptivo, tipo estudio de casos

5.2 POBLACIÓN

La población de deportistas lanzadores de bala paralímpicos, que participó del macroproyecto “EFECTO DE UN PROGRAMA DE REHABILITACIÓN FUNCIONAL APOYADO EN REALIDAD VIRTUAL PARA LA MEJORA DE LA ESTABILIDAD DE TRONCO Y LA TÉCNICA DEPORTIVA DE LANZADORES DE BALAS Y JABALINA PARALÍMPICOS DEL VALLE DEL CAUCA” y que constituyeron la población esperada para el presente estudio fueron 6 atletas. De ellos, se excluyeron 2 deportistas por los siguientes motivos: uno no continuó con los entrenamientos durante las jornadas de evaluación en el proyecto, mientras que el otro deportista presentó una escara grado 3 glútea que lo mantuvo en hospitalización. Los deportistas incluidos presentaron altos logros deportivos por INDERVALLE en el año 2017 y son clasificados como F51- F57.

La población seleccionada cumplió con los siguientes criterios de inclusión y exclusión

5.2.1 Criterios de inclusión

- Deportistas que hubieran participado en el macroproyecto “EFECTO DE UN PROGRAMA DE REHABILITACIÓN FUNCIONAL APOYADO EN REALIDAD VIRTUAL PARA LA MEJORA DE LA ESTABILIDAD DE TRONCO Y LA TÉCNICA DEPORTIVA DE LANZADORES DE BALAS Y JABALINA PARALÍMPICOS DEL VALLE DEL CAUCA”
- Deportistas paralímpicos que practicaban lanzamiento de bala en silla de lanzamiento de Clases F 51-57. (en estas clases, los atletas poseen distintos niveles de lesión medular, daño de columna o amputaciones)
- Deportista que fueran catalogados como de altos logros integrantes de la selección Valle.
- Deportista que aceptaron participar voluntariamente del estudio

5.2.2. Criterios de exclusión

- Deportistas que no participaron de todas las evaluaciones
- Deportistas que presentaban algún tipo de alteración en la piel del dorso

5.3 Cuadro operacional de variables

OBJETIVO ESPECIFICO	VARIABLE	DEFINICION	OPERACIONALIZACION	NIVEL	INSTRUMENTO
Caracterizar demográfica y clínicamente a la población de estudio	Edad	Tiempo transcurrido desde el evento de nacimiento de la persona hasta el momento	Edad (Números Enteros)	Razón	Ficha de evaluación médico-deportiva Intervalle, encuesta
	Genero	Refiere el sexo de un individuo como masculino o femenino	1.Masculino 2.Femenino	Nominal	
	Mecanismo de lesión.	Evento en el cual ocurre la lesión.	-Herida por arma de fuego -Herida por arma corto punzante -Accidente de tránsito. -Otros accidentes. -Patológico.	Ordinal	
	Secuelas de la lesión	Alteración persistente de una lesión, consecuencia de una enfermedad, un traumatismo o una intervención quirúrgica	-Alteración de la fuerza muscular -Alteración en el rango de movimiento (articulaciones inestables, artritis) -Deficiencias en miembros (Amputaciones o enfermedades como cáncer)	Nominal	
	Tiempo de evolución de la lesión	Numero de meses transcurridos desde la lesión.	Reporte en Meses.	Discreta	
	Clasificación medico funcional	Clasificación empleada por la IAF para determinar el grupo en el cual puede	F51-F58 y T51- T54	Nominal	

		competir el deportista con discapacidad			
Analizar cualitativamente los músculos involucrados en las fases de ejecución gesto del lanzamiento paralímpico de bala	Acción muscular del tronco	Participación muscular en cada fase del gesto deportivo	- Movimientos ejecutados durante el gesto - Tipo de contracción muscular realizado en el gesto de lanzamiento: concéntrica o excéntrica	Nominal	Registro videográfico del Macroproyecto Formato de recolección de datos
Describir a partir de electromiografía la activación de los músculos recto abdominal, oblicuo externo y erector de la columna durante el gesto deportivo	Activación muscular	Actividad eléctrica muscular producida por un impulso nervioso.	- Señal electromiográfica: microvoltios (μV) - Contenido de a frecuencia: herz (Hz)	Continua	Captura de señal de la actividad eléctrica durante la contracción muscular a través de electromiografía Formato de recolección de datos
Establecer mediante simulación computacional la actividad de los músculos recto abdominal, oblicuo externo y erector de la columna durante el gesto deportivo	Actividad muscular	Actividad muscular durante el gesto deportivo	Porcentaje de activación	Continua	Registros videográfico y software de análisis motive. Programa de simulación computacional ANYBODY

5.4 MATERIALES Y MÉTODOS

5.4.1 Entrenamiento del Evaluador en el manejo de los equipos

Para la toma de datos y evaluaciones a los deportistas, se realizó un entrenamiento de tres meses en el uso del software de análisis computacional y en el manejo de los equipos

de electromiografía, a cargo de un ingeniero experto en el manejo de software y la docente tutora de la presente investigación. Posteriormente se realizaron pruebas piloto con sujetos sanos, a los que se les aplicó todo el protocolo de manejo de la piel y ubicación de electrodos o marcadores en las zonas a estudiar y se les pidió realizar la simulación del gesto deportivo, éste procedimiento se realizó en repetidas ocasiones durante el tiempo del entrenamiento.

5.4.2 Caracterización de la población

Se citó a los participantes al campo de entrenamiento habitual en la sede de INDERVALLE donde se les explicó el estudio y se les socializó en consentimiento informado (Anexo 1) el cual leyeron y firmaron manifestando comprender y aceptar la participación. La caracterización de la población la realizó el investigador principal a través de una entrevista personal que requirió un tiempo aproximado de 15 minutos, se utilizó un formato de recolección de datos (Anexo 2) que brindó información personal, deportiva, clínica y antropométrica de los deportistas del estudio.

5.4.3 Descripción muscular de las fases del gesto deportivo

Para la descripción de los músculos involucrados en el gesto deportivo de lanzamiento de bala, se utilizaron registros videográficos que fueron captados en el macroproyecto donde muestra la ejecución del gesto deportivo de los deportistas seleccionados. Para la filmación se emplearon 3 cámaras filmando a 210 fps, ubicadas en el plano frontal anterior, sagital derecha y sagital izquierda del deportista. A cada sujeto se le pidió realizar el lanzamiento 3 veces, para el análisis se tuvo en cuenta el gesto que el evaluador consideró que presentó mejor ejecución.

A partir de ésta información y con los reportes de las acciones musculares obtenidas en la literatura, se realizó una observación detallada de la ejecución del movimiento según las fases del gesto y se analizó cualitativamente los músculos que están involucrados según su origen, inserción y acción. La información fue recogida en un formato de recolección de datos (Anexo 3). Para éste procedimiento no se presentó limitación con los equipos, por consiguiente, se tuvo en cuenta todos los músculos del tronco para el análisis cualitativo.

5.4.4 Toma de muestras electromiográficas en el campo de juego

Para obtener la información referente a la actividad eléctrica muscular durante el lanzamiento, se citó a los deportistas al campo de entrenamiento en INDERVALLE, donde se ubicó en la silla de lanzamiento que utiliza habitualmente para el entrenamiento.

Dada la limitación que presentó el equipo al contar sólo con 4 canales de recepción de señal, los músculos que se tuvieron en cuenta para la toma de registro electromiográfico fueron: el Recto abdominal, el oblicuo externo y el erector de la columna (iliocostal y longuísimo), se escogieron esos músculos por la acción y participación que tienen durante las fases del gesto deportivo⁷. A cada deportista, el investigador le preparó la piel de la región donde se colocaron electrodos de 2 cm aproximadamente que detectan la información de las señales eléctricas que fue captada por el equipo de Electromiografía de superficie (BTS FREE EMG Bioengineering). No se presentó ningún caso adverso, sin embargo, en caso de haberse presentado alguna reacción desfavorable en la piel por la aplicación de los electrodos o cualquier eventualidad por el proceso, el centro de entrenamiento de INDERVALLE contó con profesionales de la salud especializados para su atención.

Tabla 2. Pasos para la toma de datos

PASOS	EXPLICACIÓN
Se le pidió al deportista usar ropa adecuada	Necesidad de acceder a algunos músculos que podían estar cubiertos por la ropa, además la ropa rígida podía causar interferencia
Se identificó la ubicación del electrodo y se marcó regiones prominentes.	Marcar puntos de referencia y líneas de orientación. Se empleó una cinta métrica flexible para medir distancias.
Se limpió la piel con un fluido abrasivo / conductivo.	Mejorar la adherencia de los electrodos
Se conectaron los electrodos paralelos a las fibras musculares a una distancia de 2 cm entre ellos, usando el tipo de electrodo más pequeño disponible	Ubicar los electrodos en el vientre muscular aumenta la selectividad
Se esperó aproximadamente 3 minutos mientras los deportistas realizaban calentamiento	Los electrodos en el contacto de la piel requieren tiempo para alcanzar una condición eléctrica (impedancia) estable.
Se solicitó al deportista ubicarse en la silla de lanzamiento y adoptar la posición de lanzamiento	Espacio donde se desarrolla la actividad
Se inició el monitor de señal y se verificó cada traza de EMG: verificación de línea de base.	Se debe verificar el nivel de ruido, la compensación de cero y los posibles cambios.
Se comprobaron las ráfagas de actividad EMG: ¿Se observó señal EMG?	Al usar pruebas musculares manuales, la apariencia general de las ráfagas de EMG debería verificarse

Una vez ubicados los electrodos, se solicitó al deportista ejecutar el gesto deportivo 3 veces y se seleccionó la señal de mejor calidad. Según protocolos establecidos por la Organización SENIAM (Electromiografía de Superficie para la Evaluación no Invasiva de los Músculos) (36,37,42,43), la ubicación de los electrodos en los músculos determinados para la evaluación fue la siguiente:

- Recto abdominal derecho: 3 centímetros arriba del ombligo y 4 centímetros laterales a la línea media.
- Oblicuo externo derecho: 14 centímetros laterales a la línea alba ombligo.
- Erector de la columna derecho:
 - Longuísimo: 2 dedos de ancho lateralmente del proceso espinoso de L1.
 - Iliocostal: A nivel de L2, 6 centímetros lateral del proceso espinoso.

El procedimiento tomó un tiempo estimado de una hora por cada participante. Al obtener la información de la actividad eléctrica de los músculos en bruto, se procedió con el correspondiente procesamiento para el posterior análisis:

Se exportó la información en formato de texto al software MATLAB, allí se aplicaron los filtros pasa banda (30 Hz y 450 Hz) y un RMS o media cuadrática de 500 ms. Finalmente se obtuvo un archivo numérico que permitió graficar la actividad de cada músculo y facilitó el proceso de análisis de las señales.

5.4.5 Procedimiento para el análisis por simulación computacional

Para la toma de datos en el laboratorio de biomecánica de la Universidad Libre sede Valle del Lili, dada la dificultad para que uno de los deportistas paralímpicos acudiera al laboratorio de análisis, el investigador citó a una persona conocedora del gesto deportivo que no presentaba alteraciones de tronco al momento de la evaluación. Se posicionaron marcadores reflectivos en puntos anatómicos (Figura 8) establecidos en el protocolo VICOM (Anexo 4)

- Tronco:
 - Posterior: C7, T10, espina iliaca posterior superior izquierda y derecha
 - Anterior: escotadura yugular, apófisis xifoides, espinas iliacas anteriores superiores
 - También se ubicaron marcadores en miembros inferiores que, aunque no fueron analizados, se esperaba que el movimiento captado por las cámaras infrarrojas fuese lo más exacto posible

Figura 8 Ubicación de marcadores en puntos anatómicos



Se realizó una filmación con 6 cámaras infrarrojas que permitieron captar los movimientos realizados, y se procesaron a través de un software de captura de movimiento óptico “Motive” (Optitrack – Finlandia). Usando un banco similar al de los lanzamientos de campo, se solicitó al sujeto ejecutar el gesto de lanzamiento de bala el cuál fue filmado, posteriormente la información fue procesada en el software y guardada en formato C3D. Con el formato en C3D se envió al software de simulación Anybody modeling system versión 6.0 para el correspondiente análisis. Se tomaron medidas antropométricas que fueron requeridas por el programa para obtener resultados más precisos:

- Estatura
- Peso corporal
- Ancho de la pelvis
- Altura de tronco
- Longitud del muslo
- Longitud de pierna

Después de incluir en el modelo la información necesaria, Anybody comenzó la simulación del movimiento considerando los huesos como cuerpos rígidos e interconectados mediante músculos y articulaciones a través de un análisis de dinámica inversa, luego concluyó con los resultados. Adicionalmente, se realizó evaluación electromiográfica durante la realización del gesto con la metodología establecida

anteriormente para comparar los patrones de activación muscular de ambas evaluaciones. El procedimiento tomó un tiempo estimado de dos horas. No se registró ningún evento adverso durante la toma de datos.

5.5 Fases del estudio

- Fase 1: Revisión bibliográfica y preparación para el estudio

Se realizó una revisión bibliográfica en las bases de datos Pubmed, Embase, Sience Direct, OVID y Google Scholar, con las siguientes palabras clave: athletes, paralymphy, Bullet throw, electromyography, Anybody, trunk muscles, se obtuvo evidencia que permitió nutrir el marco referencial de la presente investigación y obtener sustentos teóricos para apoyar la construcción y desarrollo de los procesos investigativos.

La propuesta se entregó al comité de ética de la Universidad del Valle, con el cual se obtuvo el correspondiente aval que permitió dar inicio al estudio. Éste requisito es indispensable para garantizar la protección de la información y la integridad de los participantes del estudio.

- Fase 2: Elaboración de protocolos

A partir de la revisión bibliográfica y de la realización de pruebas piloto en sanos se plantearon protocolos de evaluación que permitieron estandarizar los procesos para facilitar la uniformidad y la precisión en la toma de datos y garantizar resultados óptimos y confiables. Se elaboró los correspondientes manuales de procedimientos operativos estándar (POES) para cada evaluación.

- Fase 3: Recolección de datos

Se tomaron registros electromiográficos que permitieron obtener información de la actividad muscular seleccionada. Finalmente, se tomó un registro de video en un laboratorio de biomecánica que permitió exportar información al programa de análisis computacional, el cual permitió analizar información acerca de fuerzas musculares y activación de los músculos seleccionados durante el gesto de lanzamiento.

- Fase 4: Análisis de datos

Se realizó el procesamiento de todos los datos obtenidos a través de las evaluaciones, los resultados fueron tabulados y organizados en forma de tablas y gráficos para el correspondiente análisis de cada sujeto. Para el procesamiento de las señales electromiográficas se realizó una pasantía en la Universidad Federal de la Pampa Brazil, allí se definieron variables de análisis de las señales y se obtuvo la información que

permitió obtener las gráficas pertinentes a través de un software matemático. Los resultados de la simulación computacional para el análisis del movimiento humano fueron extraídos y comparados con electromiografía para observar la similitud de la actividad.

- Fase 5: Elaboración de documento final.

Al obtener los resultados de las correspondientes evaluaciones y al realizar el análisis oportuno, se elaboró el documento final, donde se muestran los resultados de cada sujeto y se discuten con los encontrados en otros estudios realizados por autores que plantearon investigaciones similares y se comparan los resultados.

5.6 CONSIDERACIONES ÉTICAS

Bajo la Resolución 8430 de 1993, Por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud, la presente investigación es catalogada como de **Riesgo mínimo** (Capítulo II, artículo 11), ya que se emplean el registro de datos a través de procedimientos comunes que consisten en: exámenes físicos o psicológicos de diagnóstico, en éste caso el examen diagnóstico fue electromiografía. Aunque la población son personas con discapacidad física, la investigación no representa vulnerabilidad para ellos.

Todos los sujetos participantes del estudio leyeron y firmaron un consentimiento informado en el que se les comunicó los riesgos y beneficios de participar en la presente investigación. El proyecto igualmente fue sometido a comité de ética institucional el cual fue aprobado.

Se contempló algunos riesgos que se podían presentar durante la toma de datos:

- Irritación de la piel por la colocación de los electrodos del equipo de electromiografía
- Riesgo eléctrico por los electrodos de la electromiografía
- Riesgo de lesión osteomuscular, durante la ejecución del gesto deportivo

Para disminuir el riesgo de irritación de la piel se usó un líquido que permitió realizar la asepsia de la piel, que es usado en los procedimientos clínicos de rutina. En caso de que el deportista presentara algún tipo de irritación le sería retirado inmediatamente el electrodo y será llevado a valoración médica.

El riesgo eléctrico fue controlado evitando usar electrodos en mal estado que pudieran generar algún tipo de evento adverso. Se usaron electrodos nuevos para cada sujeto de la investigación.

El riesgo de lesión osteomuscular, fue el mismo al que el deportista está expuesto durante sus entrenamientos habituales. Sin embargo, en caso de que se presentara alguna situación de anormalidad para el sujeto, sería evaluado por el personal médico del Centro de medicina Deportiva de Indervalle.

Con el fin de garantizar la confidencialidad en la identidad de los participantes, a cada uno se le asignó un código que sólo conocerán los investigadores. La información de los resultados se guardó en carpetas individualizadas para cada deportista en dos computadores pertenecientes a la investigación.

6 RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos, acorde a los objetivos propuestos en la presente investigación.

6.1 Caracterización demográfica y clínica de la población a estudio

4 deportistas paralímpicos aceptaron participar del estudio y firmaron consentimiento informado, 2 de sexo masculino y 2 de sexo femenino, con edades entre los 27 y 47 años con una media de 37 años. Tabla No. 1

En lo referente al mecanismo de lesión que originó la discapacidad, mostró mayor prevalencia la lesión por accidente de tránsito (2 sujetos). Los otros mecanismos que refirieron los participantes, fueron el accidente traumático y la patología congénita. Las secuelas en 2 de 4 deportistas fue el trauma raquimedular, siendo T3 el nivel de lesión más alto y T12 el nivel más bajo. Otro deportista sufrió secuelas de una patología congénita que generó acortamiento femoral en miembro inferior derecho de 10 cm y otro sujeto presentó amputación de miembro inferior izquierdo a nivel de la tibia. El tiempo de evolución clínica está entre 10 y 40 años con una media de 22 años.

Con relación a la clasificación médico – funcional de la población, uno de los deportistas fue clasificado como F54 lo que significa que tenía función normal de brazos y manos, pero no tiene función de tronco o miembros inferiores. Otro, fue clasificado como F55, es decir que tenía función normal de miembros superiores y podía realizar flexo-extensión y rotaciones de tronco, con bajo control, además no hay función en miembros inferiores. Los 2 sujetos restantes estaban clasificados como F57, que incluye a los deportistas que presentan control de tronco completo hacia la flexo-extensión y pueden realizar inclinaciones y rotaciones. (Ver Tabla 3)

Tabla 3. Caracterización demográfica y clínica de la población a estudio

SUJETO	EDAD	GÉNERO	MECANÍS- MO DE LESIÓN	SECUELAS DE LA LESIÓN	TIEMPO DE EVOLUCIÓN (años)	CLASIFICACIÓN MEDICO FUNCIONAL
Sujeto 1	46	Masculino	Accidente traumático	Amputación transtibial	40	F57
Sujeto 2	27	Femenino	Patología congénita	Acortamiento de Fémur derecho (10 cm)	27	F57

Sujeto 3	38	Femenino	Accidente de tránsito	Trauma raquimedular nivel T11, T12	10	F55
Sujeto 4	34	Masculino	Accidente de tránsito	Trauma raquimedular nivel T3,T4 y T5	11	F54

6.2 Análisis cualitativo y electromiográfico de los músculos de tronco involucrados en las fases del lanzamiento paralímpico de bala

Tomando como referencia las fases del lanzamiento paralímpico de bala planteadas por Rotawisky y cols (17), a continuación se presentan los resultados del análisis cualitativo de todos los músculos del tronco, considerando las acciones y el tipo de contracción muscular, según lo reportado en la literatura. La fase 4 de “Recuperación” no se describe ya que los músculos están entrando en reposo después de la alta exigencia del lanzamiento. Por su parte, los resultados del análisis de la señal electromiográfica, se reporte en los 4 músculos seleccionados para el estudio, en cada uno de los deportistas

- Sujeto 1

Al tener amputación transtibial, los músculos del tronco permiten mantener la estabilidad para el desarrollo de los movimientos amplios y exigentes involucrados en las fases del gesto deportivo. Se pudo observar que los movimientos se realizan de forma coordinada, transfiriendo la fuerza desde el tronco hacia el miembro superior para alcanzar el mayor desplazamiento de la bala (Figura 9). En la tabla 4 se muestran los resultados de la descripción cualitativa de la actividad funcional de los músculos del tronco por cada fase.

Figura 9. Fase del lanzamiento sujeto 1



Tabla 4. Descripción cualitativa de la actividad muscular de tronco por fases del gesto sujeto 1

S1 Amputación transtibial	Músculo	Tipo de contracción		
		FASE 1 PREPARACIÓN DEL MOVIMIENTO	FASE 2 CONSTRUCCIÓN DEL MOVIMIENTO	FASE 3 DESCARGA
	TE	Concéntrica bilateral	**Concéntrica unilateral	*Concéntrica unilateral
	EC	Concéntrica bilateral	Concéntrica bilateral	Excéntrica bilateral
	CL	Concéntrica bilateral	*Concéntrica unilateral	**Contracción unilateral
	RA	Excéntrica bilateral	Excéntrica bilateral	Concéntrica bilateral
	OE	Sin actividad	**Concéntrica unilateral	*Concéntrica unilateral
	OI	Sin actividad	*Concéntrica unilateral	**Concéntrica unilateral
	EC ILIOC	Concéntrica bilateral	*Concéntrica unilateral	**Concéntrica unilateral

TE: Transversoespinales, EC: erector de la columna, CL: cuadrado lumbar, RA: músculo recto abdominal, OE: músculo oblicuo externo, OI: músculo oblicuo interno, EC LONG: Erector de la espina longuísimo EC ILIOC: Erector de la espina iliocostal. *Músculo del lado derecho. **Músculo del lado izquierdo

En la EMG se observó la participación de todos los músculos evaluados durante los movimientos realizados. En la tabla 5 se muestra la secuencia de activación muscular durante todo el gesto dividido por fases, permitiendo observar que los músculos recto abdominal derecho (RAD) y el músculo oblicuo externo del abdomen izquierdo (OEI), se activaron entre el 40 y el 70% del movimiento, lo que corresponde a las fases 2 y 3. Los músculos longuísimo derecho (EC LONG D) y el iliocostal derecho (EC ILIOC D) se activaron entre el 10 y el 20% del ciclo del lanzamiento en la fase 1 y posteriormente entre el 30 y el 90% en las fases 2, 3 y 4 indicando que estuvieron activos durante todas las fases del gesto. En la fase final todos los músculos fueron disminuyendo la activación.

Tabla 5. Actividad muscular por fases sujeto 1, a partir de EMG

Ciclo de lanzamiento %	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	FASE 1				FASE 2		FASE 3		FASE 4		
RAD											
OEI											
EC LONG D											
EC ILIOC D											

RAD: músculo recto abdominal derecho, **OEI:** músculo oblicuo externo izquierdo, **EC LONG D:** Erector de la espina longuísimo derecho **EC ILIOC D:** Erector de la espina iliocostal derecho. **Fase 1:** preparación del movimiento. **Fase 2:** construcción del movimiento. **Fase 3:** descarga. **Fase 4:** recuperación

En el análisis de la señal en bruto (figura 10) se observó que inicialmente se presenta actividad de los músculos posteriores iliocostal y longuísimo en baja proporción, posteriormente se registra mayor actividad de los músculos recto abdominal y oblicuo externo del abdomen y finaliza de nuevo con actividad de los músculos posteriores. En la señal procesada (figura 11), se identificó que durante el tiempo comprendido entre 0 y 220 milisegundos (ms), el músculo longuísimo derecho registró activación alrededor de 0,03 milivoltios (mV) y el músculo iliocostal derecho estuvo por debajo de 0,02 mV. Los músculos recto abdominal y oblicuo externo del abdomen alcanzaron su pico máximo entre los 300 a 340 ms alcanzando una RMS de 0,14 mV aproximadamente. A partir de ese tiempo empezaron a disminuir su actividad. En los 380 ms los músculos longuísimo e iliocostal alcanzaron el pico máximo de activación logrando alrededor de 0,07 mV.

Figura 10. Registro EMG de la señal en bruto del lanzamiento sujeto 1

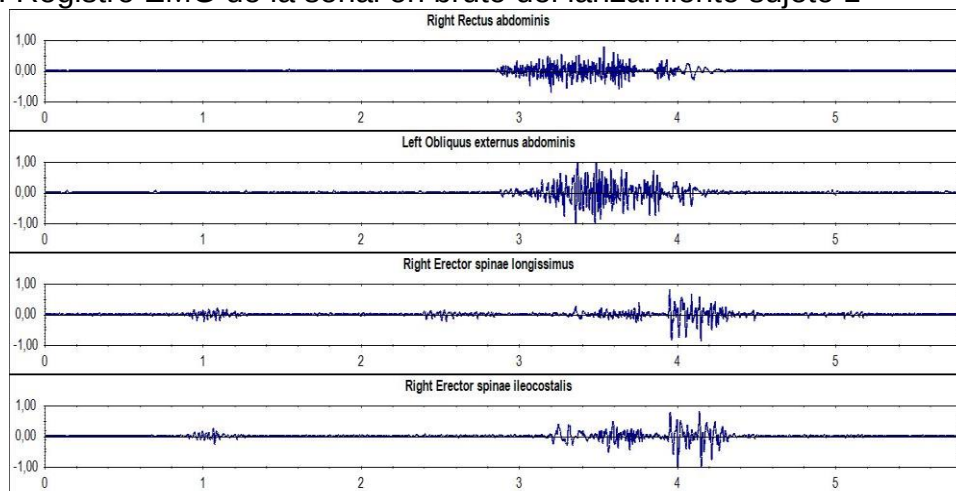
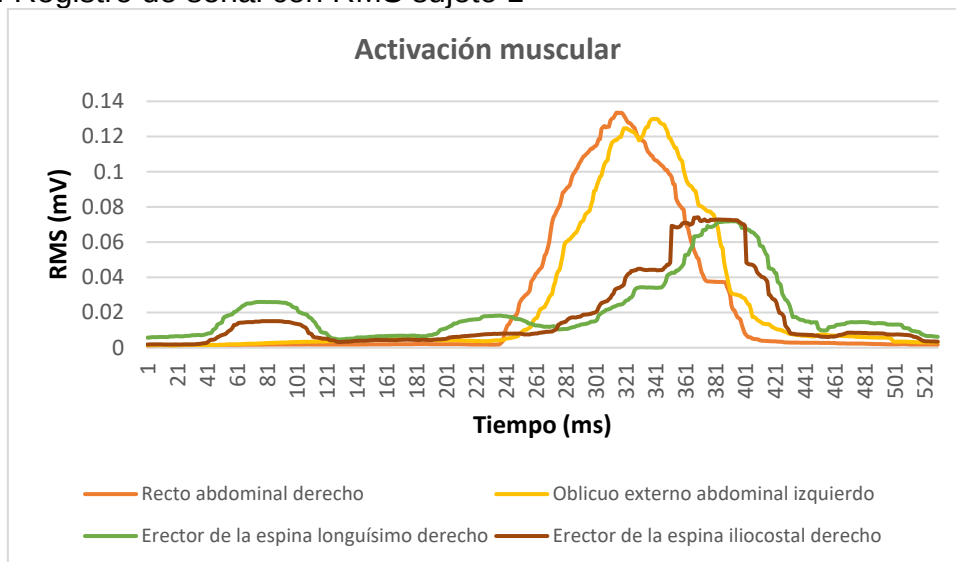


Figura 11. Registro de señal con RMS sujeto 1



- Sujeto 2

La secuela de lesión del sujeto 2 es el acortamiento femoral derecho, por tanto se espera que la musculatura de tronco permita la estabilidad de ese segmento para el desarrollo de la actividad deportiva. El sujeto se sienta de manera diagonal en la silla de lanzamiento con los miembros inferiores en abducción. Durante la fase 1, realiza extensión de columna activando los músculos extensores de manera que el tronco quede erguido. En la fase 2 el sujeto realiza simultáneamente rotación, inclinación y extensión de tronco y cadera hacia el lado del lanzamiento, activando diversos músculos para producir un gesto armónico y sincronizado. Durante la fase 3, en la posición de fuerza inicia la aceleración hacia adelante llevando el tronco hacia flexión, en la posición frontal el tronco y la pelvis llegan a la posición neutra y seguido la posición de lanzamiento realiza flexión, inclinación y rotación de tronco hacia la izquierda (Figura 10). En la tabla 6 se realiza la descripción de la actividad muscular de tronco por cada fase. No se describe la fase de recuperación ya que los músculos entran en reposo después de la alta exigencia anterior.

Figura 12. Fase del lanzamiento sujeto 2



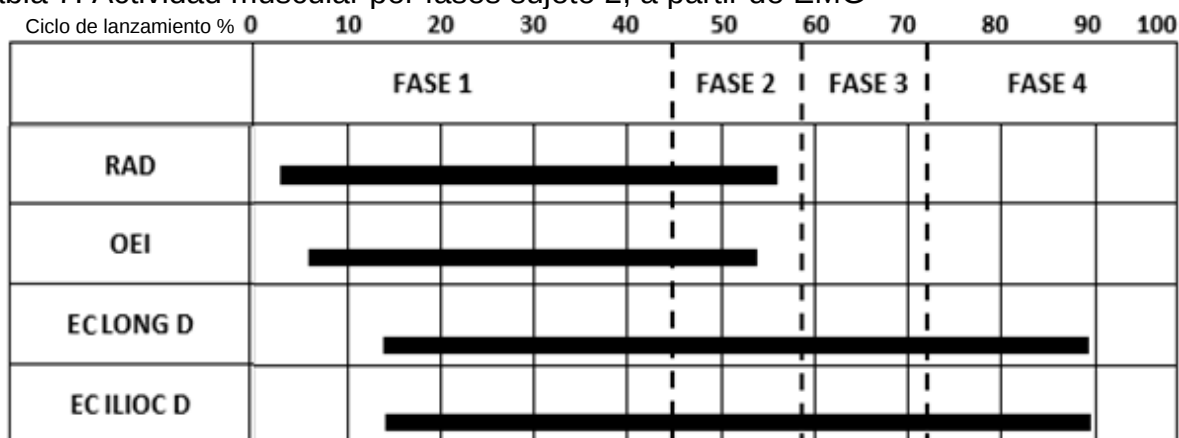
Tabla 6. Descripción cualitativa de la actividad muscular de tronco por fases del gesto sujeto 2

	Músculo	Tipo de contracción		
		FASE 1 PREPARACIÓN DEL MOVIMIENTO	FASE 2 CONSTRUCCIÓN DEL MOVIMIENTO	FASE 3 DESCARGA
S2 Acortamiento femoral derecho	TE	Concéntrica bilateral	**Concéntrica unilateral	*Concéntrica unilateral
	EC	Concéntrica bilateral	Concéntrica bilateral	Excéntrica bilateral
	CL	Concéntrica bilateral	*Concéntrica unilateral	**Contracción unilateral
	RA	Excéntrica bilateral	Excéntrica bilateral	Concéntrica bilateral
	OE	Sin actividad	**Concéntrica unilateral	*Concéntrica unilateral
	OI	Sin actividad	*Concéntrica unilateral	**Concéntrica unilateral
	EC ILIOC	Concéntrica bilateral	*Concéntrica unilateral	**Concéntrica unilateral

TE: Transversoespinales, EC: erector de la columna, CL: cuadrado lumbar, RA: músculo recto abdominal, OE: músculo oblicuo externo, OI: músculo oblicuo interno, EC LONG: Erector de la espina longuísimo EC ILIOC: Erector de la espina iliocostal. *Músculo del lado derecho. **Músculo del lado izquierdo

En la tabla 7, se observa que la actividad inicial que se registró en la EMG, fue de los músculos oblicuo externo del abdomen izquierdo y recto abdominal derecho entre las fases 1 y 2, aproximadamente en el 50% inicial del gesto ejecutado. Los músculos longuísimo e iliocostal se involucraron o se activaron en todas las fases del movimiento.

Tabla 7. Actividad muscular por fases sujeto 2, a partir de EMG



RAD: músculo recto abdominal derecho, OEI: músculo oblicuo externo izquierdo, EC LONG D: Erector de la espina longuísimo derecho EC ILIOC D: Erector de la espina iliocostal derecho. Fase 1: preparación del movimiento. Fase 2: construcción del movimiento. Fase 3: descarga. Fase 4: recuperación

Al observar el registro de la señal electromiográfica sin procesar (figura 13), se puede observar la mayor activación en los músculos recto abdominal derecho y oblicuo externo del abdomen izquierdo, con relación a la presentada por los músculos longuísimo e iliocostal. En La gráfica de la señal electromiográfica procesada (figura 14) se observó que el registro más amplio lo obtuvo el músculo oblicuo externo del abdomen izquierdo alcanzando una RMS aproximada de 0,17 mV a los 82 ms. El musculo recto abdominal derecho tuvo un patrón de activación similar en cuanto a tiempo, pero la amplitud fue de 0,12 mV. Los músculos longuísimo e iliocostal derechos aumentan secuencialmente la actividad a lo largo del movimiento, sin embargo, la amplitud de la actividad es baja con relación a los músculos anteriores. El músculo longuísimo alcanza máximo una RMS cercana a los 0,4 mV y el músculo iliocostal 0,3 mV a los 145 ms aproximadamente.

Figura 13. Registro EMG del lanzamiento sujeto 2

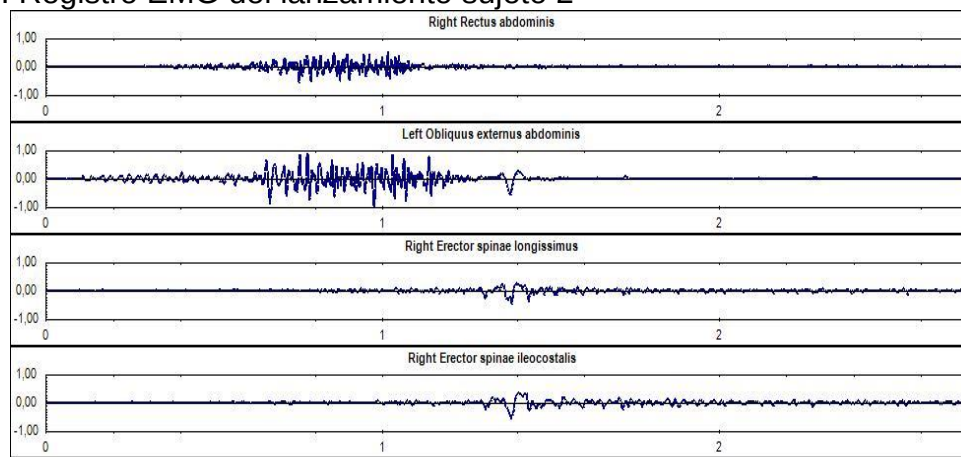
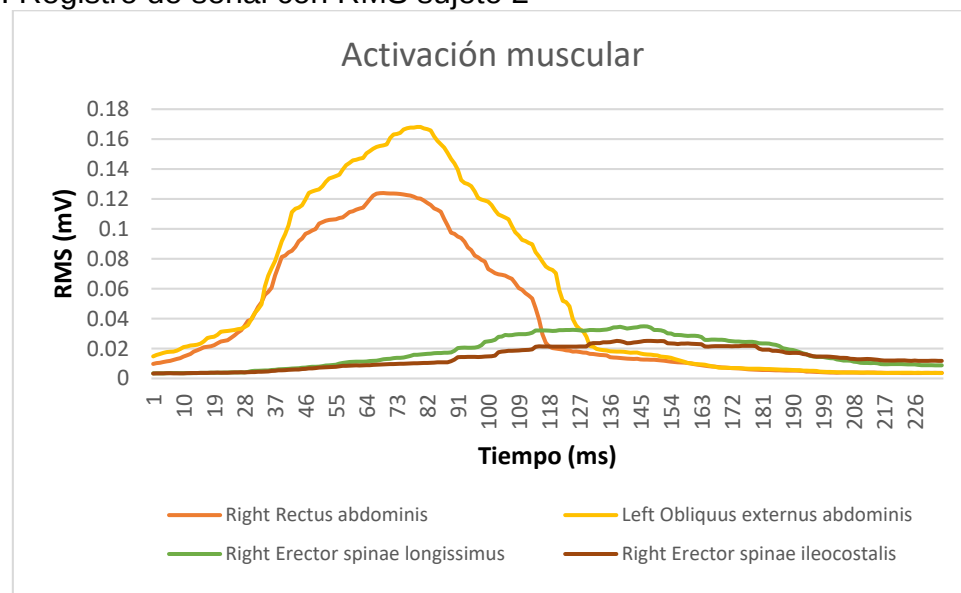


Figura 14. Registro de señal con RMS sujeto 2



- **Sujeto 3**

Teniendo en cuenta que el sujeto 3 presenta lesión a nivel medular T11 - T12, se estima que los músculos cuadrado lumbar, erector de la columna región lumbar y transversos espinales de la misma región no presentan contracción muscular, al ser estos inervados por los nervios espinales del plexo lumbar. Lo anterior afecta la estabilidad de tronco, por lo que el sujeto 3 lanza con barra de sujeción, lo cual, aunque favorece la seguridad del deportista, limita la acción de los músculos del tronco, transfiriendo gran parte de la fuerza para el desplazamiento al miembro superior que realiza el agarre. La inervación de la musculatura de la pared anterolateral del abdomen no se ve afectada por el nivel de la lesión medular (28–30) (Tabla 8).

Figura 15. Fase del lanzamiento sujeto 3



Tabla 8. Descripción cualitativa de la actividad muscular de tronco por fases del gesto

S3 Lesión medular nivel T11 - T12	Músculo	Tipo de contracción		
		FASE 1 PREPARACION DEL MOVIMIENTO	FASE 2 CONSTRUCCIÓN DEL MOVIMIENTO	FASE 3 DESCARGA
	TE	Concéntrica bilateral T12 – C2	** Concéntrica unilateral T12 – C2	*Concéntrica unilateral T12 – C2
	EC	Concéntrica bilateral T12 – C2	Concéntrica bilateral T12 – C2	Excéntrica bilateral T12 – C2
	CL	Sin contracción	Sin contracción	Sin contracción
	RA	Excéntrica bilateral	Excéntrica bilateral	Concéntrica bilateral
	OE	Sin actividad	**Concéntrica unilateral	*Concéntrica unilateral

	OI	Sin actividad	*Concéntrica unilateral	**Concéntrica unilateral
	EC ILIOC	Concéntrica bilateral TXII a TVI	*Concéntrica unilateral TXII a TVI	**Concéntrica unilateral

TE: Transversoespinales, **EC:** erector de la columna, **CL:** cuadrado lumbar, **RA:** músculo recto abdominal, **OE:** músculo oblicuo externo, **OI:** músculo oblicuo interno, **EC LONG:** Erector de la espina longuísimo **EC ILIOC:** Erector de la espina iliocostal. *Músculo del lado derecho. **Músculo del lado izquierdo

En la tabla 9 se ilustra la actividad de los músculos estudiados a través de lo obtenido en EMG. Según lo observado, se determinó que todos los músculos se activaron en muy baja intensidad. Los músculos oblicuo externo del abdomen izquierdo y recto abdominal derecho se activaron entre el 30 y el 70% del tiempo durante las fases 2 y 3 del lanzamiento, mientras que los músculos longuísimo e iliocostal derecho presentaron ligera actividad durante las últimas 3 fases a partir del 30% del tiempo de duración del gesto.

Tabla 9. Actividad muscular por fases sujeto 3, a partir de EMG

Ciclo de lanzamiento %	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	FASE 1			FASE 2			FASE 3			FASE 4	
RAD											
OEI											
EC LONG D											
EC ILIOC D											

RAD: músculo recto abdominal derecho, **OEI:** músculo oblicuo externo izquierdo, **EC LONG D:** Erector de la espina longuísimo derecho **EC ILIOC D:** Erector de la espina iliocostal derecho. **Fase 1:** preparación del movimiento. **Fase 2:** construcción del movimiento. **Fase 3:** descarga. **Fase 4:** recuperación

En el registro electromiográfico de la figura 16, la actividad muscular fue casi imperceptible. En la figura 17 se ilustra la gráfica de la señal procesada, donde se puede observar que el músculo recto abdominal presentó una señal ligeramente mayor que la de los otros músculos, 0,02 mV entre los 133 y los 145 ms. El músculo oblicuo externo del abdomen izquierdo registró amplitud de la señal de 0,01 mV aproximadamente. Sin embargo, la actividad de ambos músculos es menor a la esperada, ya que al no presentar alteración de inervación su función está conservada (28–30). Los músculos longuísimo e iliocostal presentaron actividad muscular muy baja por lo que no se descarta que sea ruido.

Figura 16. Registro EMG del lanzamiento sujeto 3

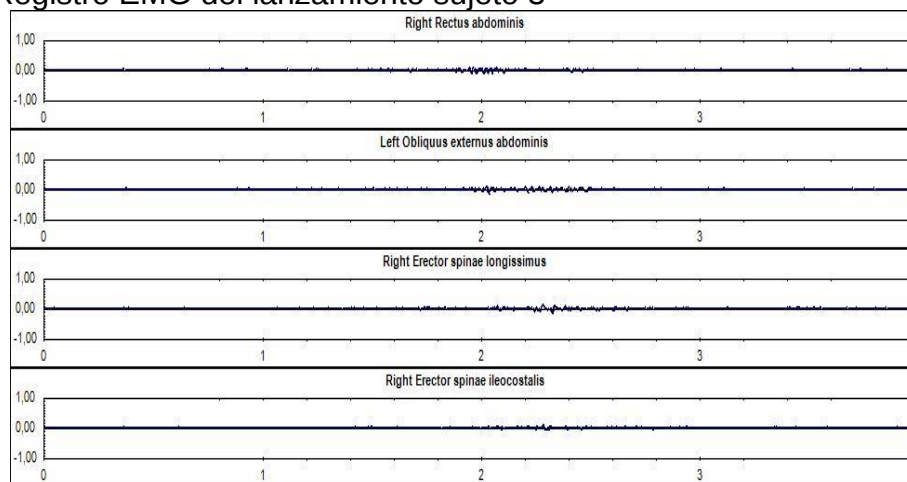
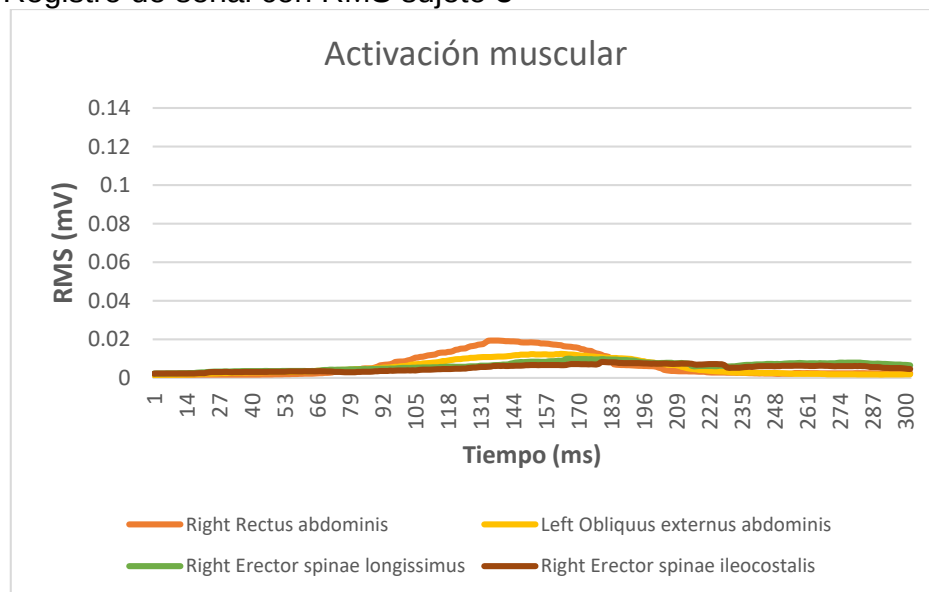


Figura 17. Registro de señal con RMS sujeto 3



- Sujeto 4

Teniendo en cuenta que el nivel de lesión del sujeto 4 (nivel medular T3, T4 y T5) implica un compromiso de la inervación dorsolumbar y abdominal, es necesario que el deportista haga uso de la barra auxiliar de sujeción para mantener el tronco erguido durante la fase 1 y compensar la falta de control motor durante los desplazamientos requeridos en el gesto. Por lo anterior, cualitativamente se realizó un estimado de la musculatura que podría activarse o no, durante los movimientos ejecutados

Figura 18. Fase del lanzamiento Sujeto 4



Tabla 10. Descripción cualitativa de la actividad muscular de tronco por fases del gesto

	Músculo	Tipo de contracción		
		FASE 1 PREPARACION DEL MOVIMIENTO	FASE 2 CONSTRUCCIÓN DEL MOVIMIENTO	FASE 3 DESCARGA
S4 Lesión medular nivel T3 – T4 y T5	TE	Concéntrica bilateral T3 – C2	** Concéntrica unilateral T3 – C2	*Concéntrica unilateral T3 – C2
	EC	Concéntrica bilateral T3 – C2	Concéntrica bilateral T3 – C2	Excéntrica bilateral T3 – C2
	CL	Sin contracción	Sin contracción	Sin contracción
	RA	Sin contracción	Sin contracción	Sin contracción
	OE	Sin contracción	Sin contracción	Sin contracción
	OI	Sin contracción	Sin contracción	Sin contracción
	EC ILIOC	Sin contracción	Sin contracción	Sin contracción

TE: Transversoespiniales, EC: erector de la columna, CL: cuadrado lumbar, RA: músculo recto abdominal, OE: músculo oblicuo externo, OI: músculo oblicuo interno, EC LONG: Erector de la espina longuísimo EC ILIOC: Erector de la espina iliocostal. *Músculo del lado derecho. **Músculo del lado izquierdo

En la tabla 11, se evidencia que los músculos recto abdominal derecho y oblicuo externo del abdomen izquierdo presentaron activación aproximadamente al 10% de la fase 1 y entre el 30 y el 80% de la fase 2 y 3. Los músculos longuísimo e ilocostal se activaron también en las fases 1, 2 y 3, casi en los mismos tiempos que los anteriores.

Tabla 11. Actividad muscular por fases sujeto 4, a partir de EMG

Ciclo de lanzamiento %	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	FASE 1			FASE 2			FASE 3			FASE 4	
RAD		■			■	■	■	■	■		
OEI		■			■	■	■	■	■		
EC LONG D		■	■			■	■	■	■		
EC ILIOC D		■	■		■	■	■	■	■		

RAD: músculo recto abdominal derecho, **OEI:** músculo oblicuo externo izquierdo, **EC LONG D:** Erector de la espina longuísimo derecho **EC ILIOC D:** Erector de la espina iliocostal derecho. **Fase 1:** preparación del movimiento. **Fase 2:** construcción del movimiento. **Fase 3:** descarga. **Fase 4:** recuperación

El registro electromiográfico del gesto de lanzamiento del sujeto 4 (figura 19 y 20) mostró una actividad con amplitud muy baja, pero en tiempos similares a los de los sujetos sin patología de tronco. Los músculos longuísimo e iliocostal derecho registraron mayor actividad (0,02 mV), mientras que los músculos oblicuo externo del abdomen izquierdo y recto abdominal derecho presentaron amplitud de señal menor a 0,01 aproximadamente.

Figura 19. Registro EMG del lanzamiento sujeto 4

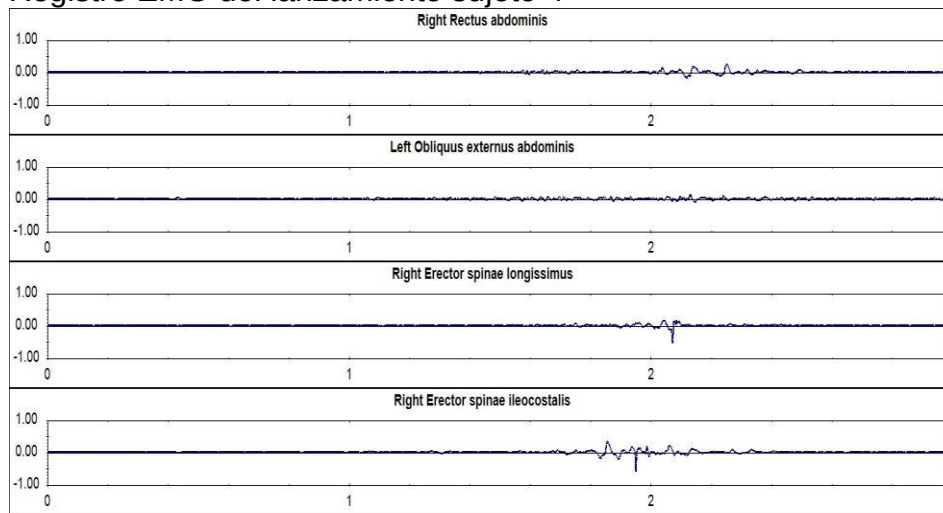
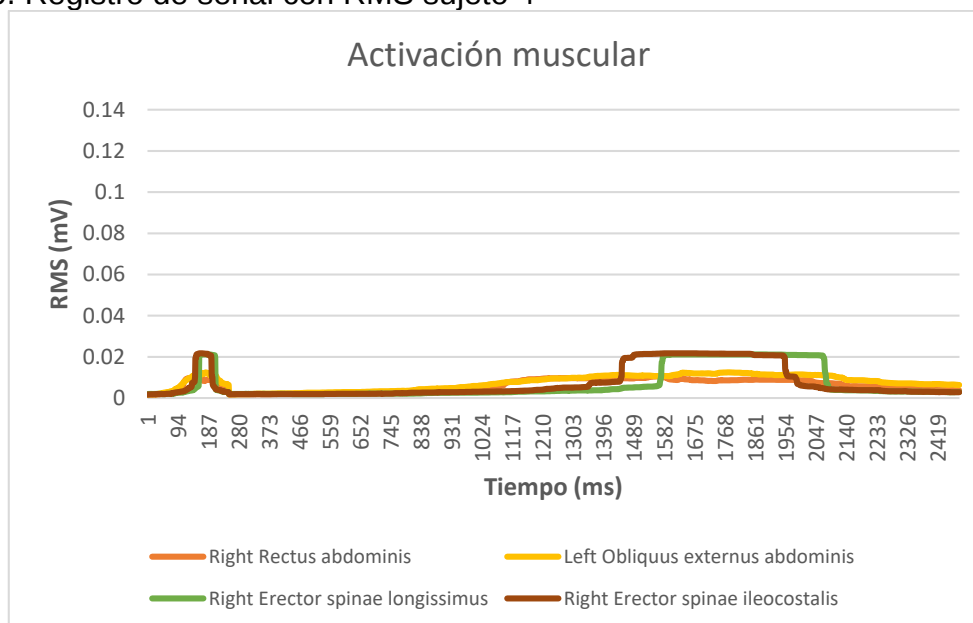


Figura 20. Registro de señal con RMS sujeto 4



6.3 Análisis mediante simulación computacional de la actividad muscular de tronco durante la ejecución del gesto deportivo

Tal como se mencionó en la metodología, para el análisis por simulación computacional se realizó la filmación y toma de datos electromiográficos en un sujeto entrenado sano, en condiciones de laboratorio, durante la ejecución del gesto de lanzamiento en silla. Los movimientos de tronco realizados, incluyeron extensión de columna para ubicar el tronco en posición erguida en la fase 1, rotación, extensión e inclinación hacia el lado del lanzamiento en la fase 2 y en la fase 3 realizó movimientos de desplazamiento anterior como flexión, rotación e inclinación hacia el lado contrario, finalmente la fase de reposo. Los movimientos fueron filmados y posteriormente procesados en el software. En la figura 21 se presentan las imágenes del sujeto real y del modelo computacional realizando el mismo movimiento.

En la figura 22 se ilustra la actividad de los músculos reportada por el modelo de simulación computacional según las fases del gesto deportivo. En la gráfica se puede observar que los cuatro músculos analizados registran actividad de diferente magnitud. Teniendo en cuenta que los resultados del software de AnyBody se expresan en término de porcentaje de activación, se puede determinar que los músculos abdominales: recto abdominal y oblicuo externo del abdomen, obtuvieron el mayor porcentaje de activación cuando ejecutó entre el 40 y el 70 % del gesto deportivo, mientras que el porcentaje de

activación de los músculos dorsales: iliocostal y longuísimo fue menor y se activaron en 2 tiempos: entre el 30 y 40% y entre el 70 y 90% del gesto.

Figura 21. Gesto de lanzamiento modelo. **A.** Sujeto real **B.** Simulación computacional

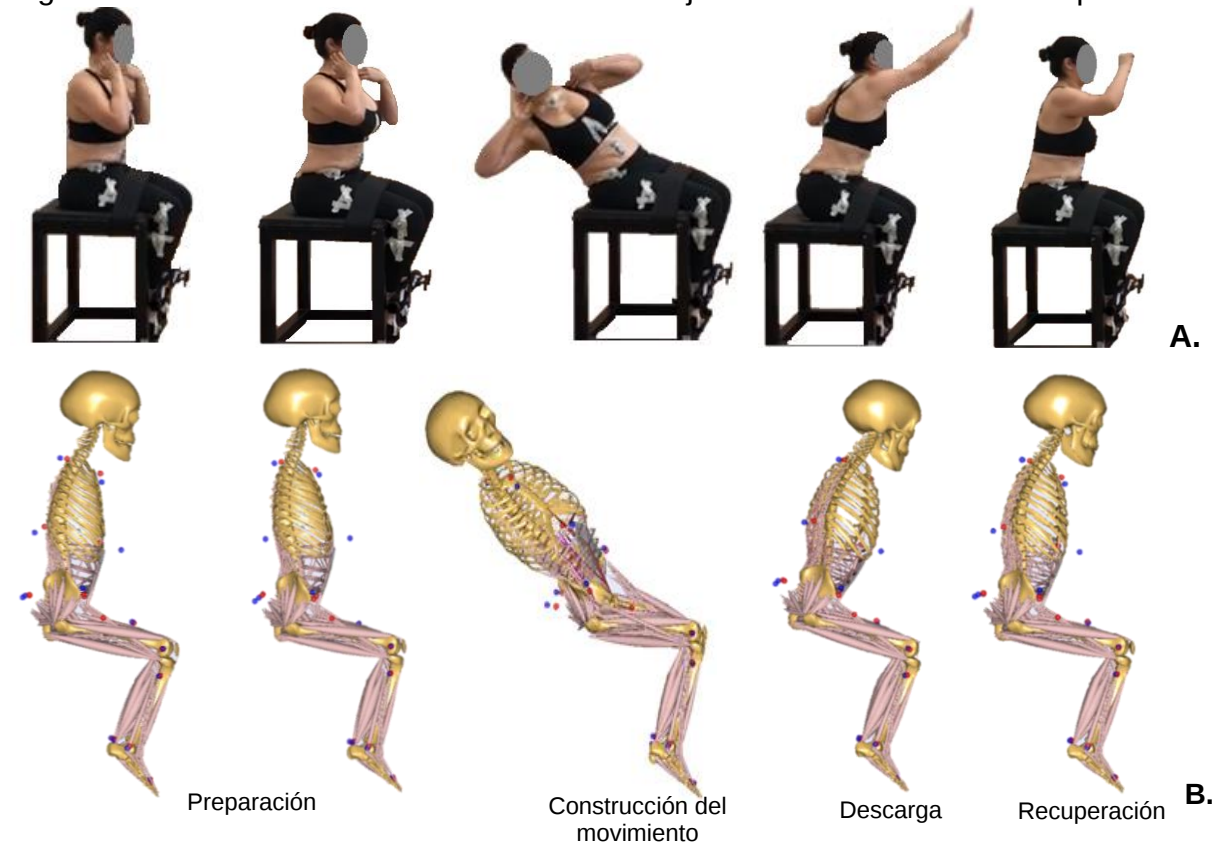
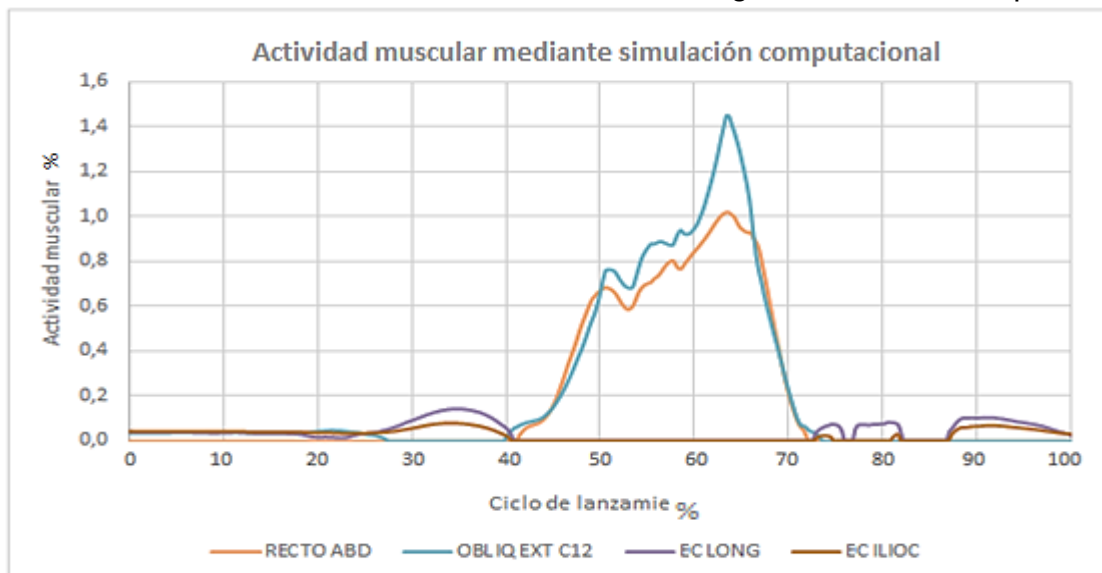


Figura 22. Actividad muscular durante el lanzamiento según simulación computacional



6.3.1 Comparación entre los resultados de simulación computacional y electromiografía de superficie

Los resultados obtenidos mediante simulación computacional se compararon con Electromiografía de superficie, observando el comportamiento de los picos de activación y la duración de la misma en el ciclo de lanzamiento. Se expresó el ciclo deportivo en porcentaje siendo el 100% el total del gesto. Se apreció en las gráficas tanto de la simulación como de EMG que hay una similitud en la forma y en los tiempos de activación de los músculos en ambas evaluaciones, con excepción del músculo iliocostal derecho que muestra un patrón de activación diferente en los resultados de la simulación. A continuación, se presentan las gráficas comparativas de la actividad muscular.

Figura 23. Actividad muscular del Recto Abdominal derecho **A.** AnyBody **B.** EMG

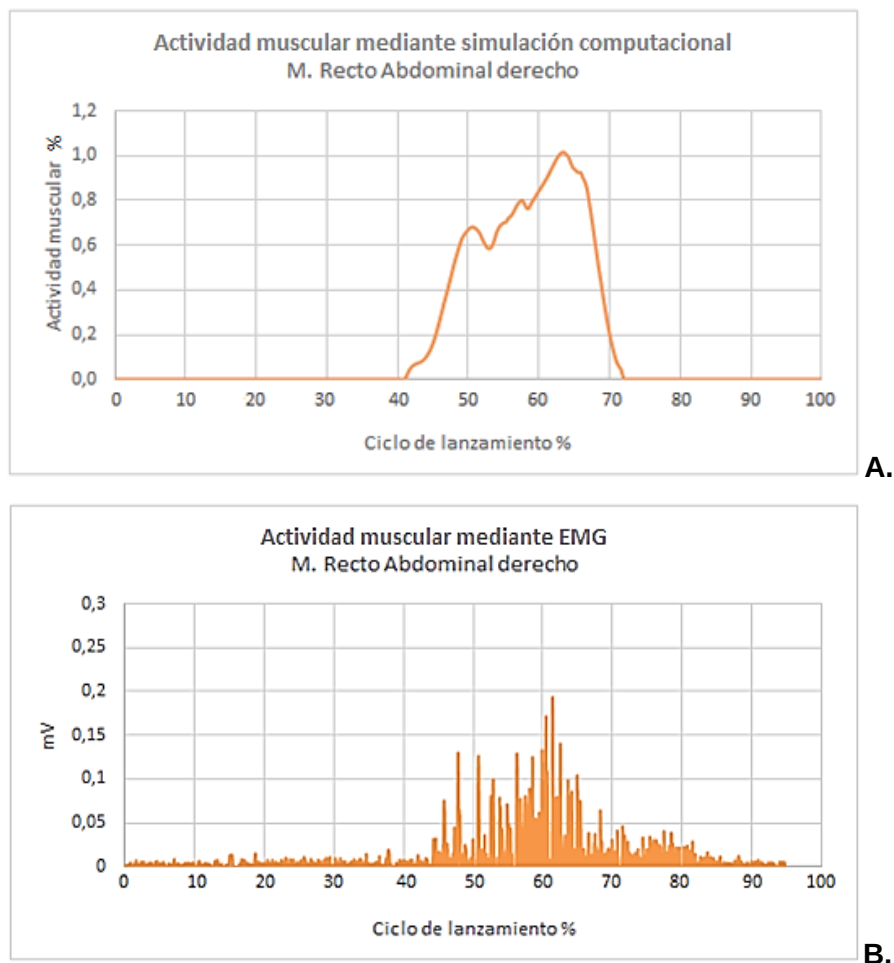
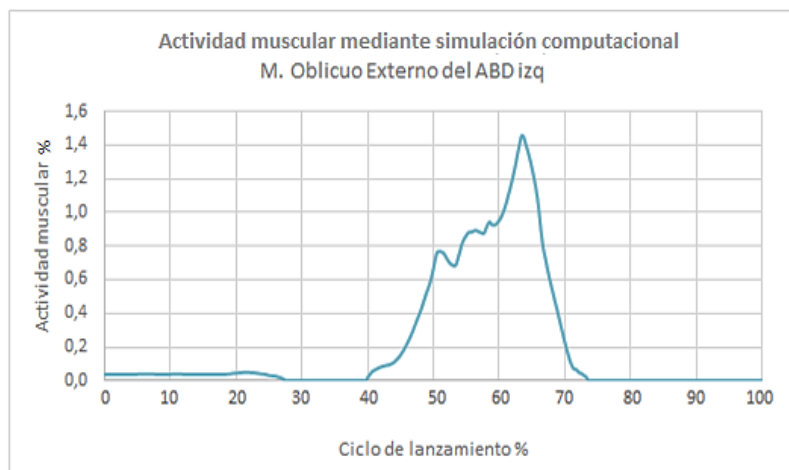
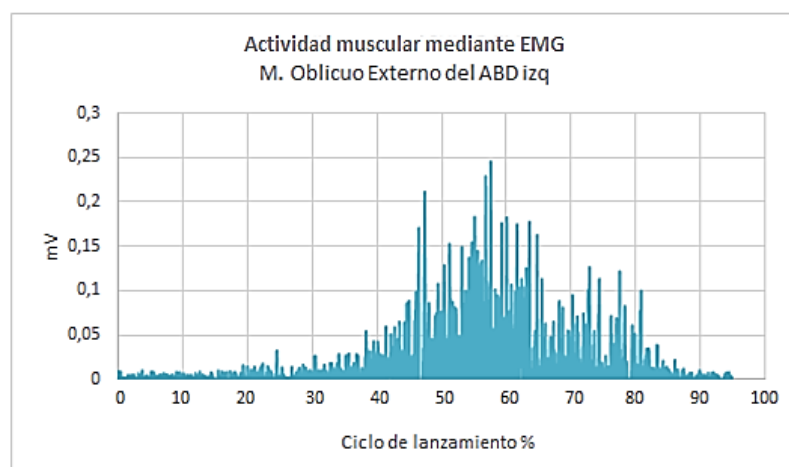


Figura 24. Actividad muscular del Oblicuo externo Abdominal izquierdo **A.** AnyBody **B.** EMG

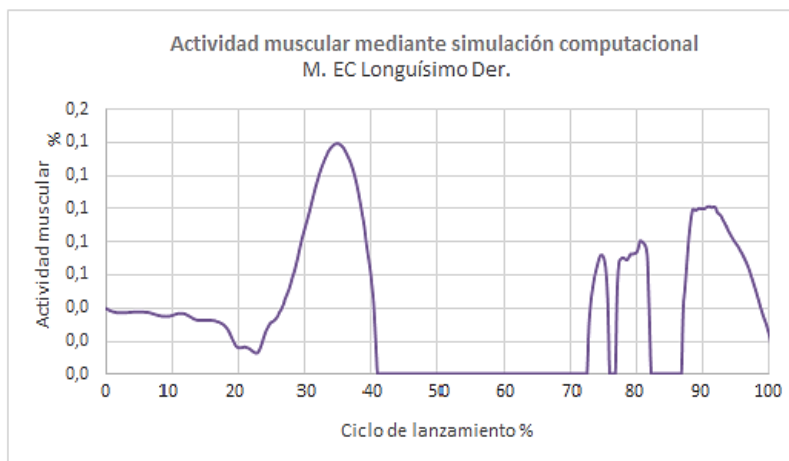


A.



B.

Figura 25. Actividad muscular del EC Longuísimo derecho en **A.** AnyBody **B.** EMG



A.

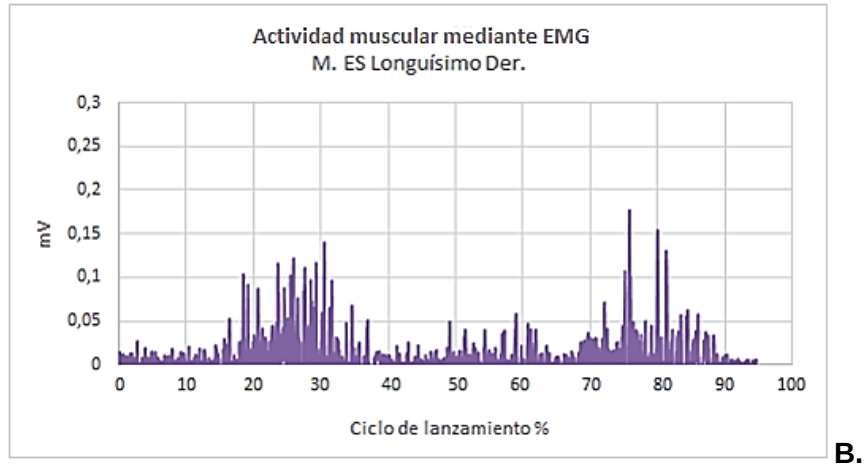
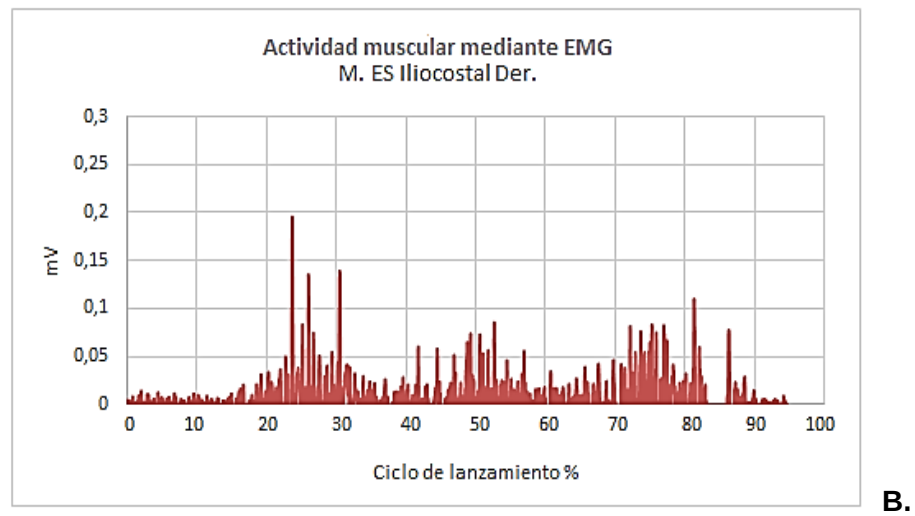
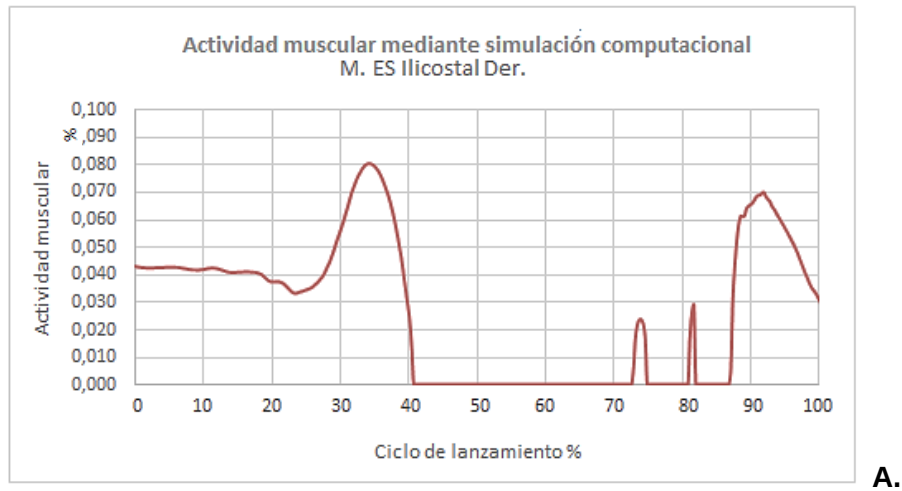
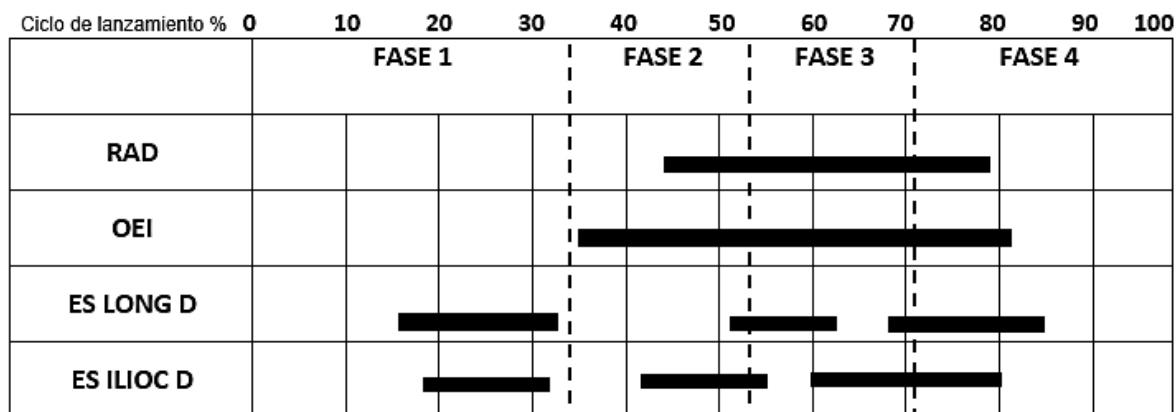


Figura 26. Actividad muscular del EC Iliocostal derecho en **A.** AnyBody **B.** EMG



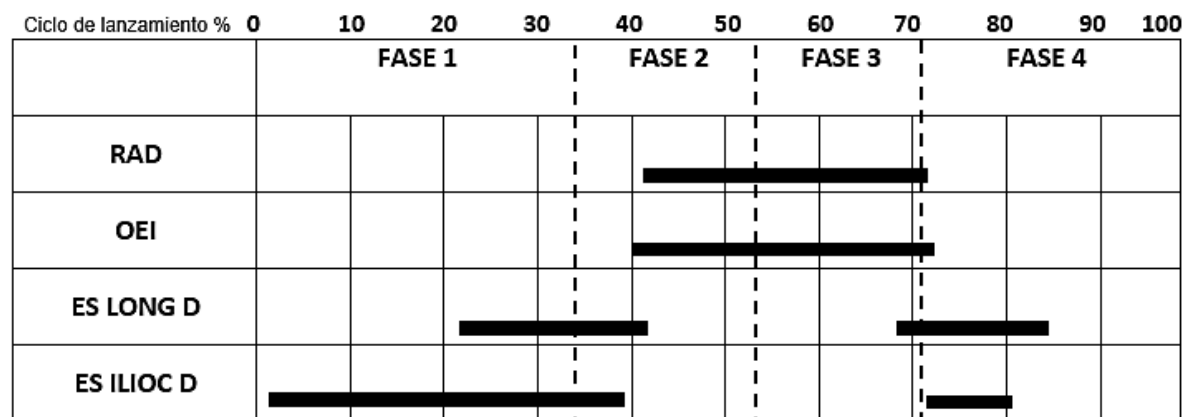
En las tablas 12 y 13, se aprecia que el patrón de activación similar en ambas evaluaciones, ya que se activan primero los vientres musculares del erector de la columna derecho (longuísimo e iliocostal) al poner el tronco erguido, seguido de activación de los músculos de la pared anterolateral del abdomen (recto abdominal y oblicuo externo del abdomen) en la fase 2 y 3 entre el 40 y el 70%, finalizando con la activación de nuevo del erector de la columna al final de la fase 3 e iniciando la fase 4 entre el 70 y el 90% del gesto.

Tabla 12. Actividad muscular según EMG de un sujeto sin alteración muscular de tronco



RAD: músculo recto abdominal derecho, **OEI:** músculo oblicuo externo izquierdo, **EC LONG D:** Erector de la espina longuísimo derecho **EC ILIOC D:** Erector de la espina iliocostal derecho. **Fase 1:** preparación del movimiento. **Fase 2:** construcción del movimiento. **Fase 3:** descarga. **Fase 4:** recuperación

Tabla 13. Actividad muscular por fases del modelo de simulación computacional



RAD: músculo recto abdominal derecho, **OEI:** músculo oblicuo externo izquierdo, **EC LONG D:** Erector de la espina longuísimo derecho **EC ILIOC D:** Erector de la espina iliocostal derecho. **Fase 1:** preparación del movimiento. **Fase 2:** construcción del movimiento. **Fase 3:** descarga. **Fase 4:** recuperación

7 DISCUSIÓN

El rol de los músculos del tronco está definido desde el punto de vista anatómico. Se asume que los músculos erectores de la columna cumplen funciones de extensión e inclinación mientras que los abdominales realizan flexión y rotación de tronco. (10,28–30). Sin embargo, cuando se realiza un gesto funcional complejo como en el caso del lanzamiento de bala en silla, donde diversos movimientos se realizan de manera simultánea, es difícil precisar la participación de cada músculo y evidenciar su activación como músculo agonista o antagonista. Diversos autores (36,44–47) reportan la actividad muscular a través de electromiografía para algunos gestos funcionales. Tal es el caso de Morini S. y cols (48) quienes estudiaron la anatomía funcional de los músculos del tronco en movimientos de flexo-extensión en posición de pie y sentado, observando activación de todos los grupos musculares durante las actividades evaluadas, con variaciones dependientes de los ángulos de movimiento y concluyeron que su actividad es esencial para la prevención de patologías de la columna vertebral. Otros estudios plantean la importancia de los músculos del tronco durante diferentes tareas, por ejemplo, los músculos oblicuos son importantes para que el tronco rote en relación a la pelvis y el músculo erector de la columna ayuda con el control gravitacional y las acomodaciones posturales de tronco, además de controlar la flexión exagerada del mismo (44–47).

En el gesto deportivo de lanzamiento de bala paralímpico se mezclan los movimientos de tronco y si se tiene en cuenta que cada deportista presenta una limitación debido a su condición clínica, es de esperarse que la actividad muscular se presente de forma diferente en cada uno de ellos. Además, dicha actividad también se puede ver afectada por la forma en que el atleta ejecuta las acciones deportivas, las cuales no necesariamente están ligadas a su condición clínica; tal es el caso del sujeto 1 y el sujeto 2 que no presentan alteración en el tronco sino de miembros inferiores y sin embargo el sujeto 1 realiza de forma amplia y coordinada todos los movimientos de la técnica según la fase del gesto, mientras que el sujeto 2 omite el movimiento de la primera fase (figura 14). Por su parte, los sujetos 3 y 4 que son los que tienen alteración funcional de tronco, presentan una restricción y modificación del movimiento dado que lanzan con barra auxiliar. Las características individuales en la ejecución del gesto, se evidenciaron también en los resultados de la electromiografía de superficie, reflejando además que la actividad muscular es de mayor amplitud durante las contracciones determinadas como excéntricas en el análisis cualitativo, coincidiendo con lo reportado por la literatura (49,50).

En el sujeto 1 la actividad electromiográfica confirmó la evaluación cualitativa, puesto que durante los movimientos del gesto los patrones de activación muscular fueron los esperados según lo reportado en la literatura (28,29), sin embargo, los mayores picos de activación muscular se presentaron durante las acciones excéntricas en las cuales realizan mayor trabajo y activación en cada fase (49,50). Estudios realizados por diversos autores (44–47) dejan notar la importancia de los músculos del troco durante actividades deportivas y cotidianas en personas sin alteraciones físicas, lo que lleva a pensar que para las personas con discapacidad tienen un mayor valor, de forma tal que faciliten las acomodaciones posturales para el desarrollo de la práctica deportiva y mejoramiento de la marca.

En el gesto deportivo del sujeto 2, la actividad electromiográfica de la fase inicial evidenció activación de los músculos recto abdominal y oblicuo externo del abdomen. Éste último mostró la mayor amplitud con relación a los otros músculos durante el movimiento, sin embargo, lo esperado en los resultados y debido a la funcionalidad muscular, es que se activaran primero los erectores de la columna según lo establecido por Rotawisky (17,27) que determinaron que la fase inicial es llevar el tronco a una posición erguida realizando una extensión leve de éste segmento. Por tanto, queda la inquietud de si el sujeto 2 está realizando de manera óptima el gesto o por el contrario ha hecho adaptaciones y está omitiendo la fase 1 de preparación del movimiento, ya que la actividad de los músculos iliocostal y longuísimo inició al final de la segunda fase en su acción excéntrica.

Para el sujeto 3 con lesión medular nivel T11 - T12, en el análisis cualitativo se esperaba que, por su nivel de lesión, el compromiso de los músculos del dorso sea mínimo y que las acciones funcionales de los músculos abdominales estén conservadas presentando activación durante los movimientos de flexión, extensión y rotación de tronco. Sin embargo, al observar la amplitud de las señales electromiográficas de los 4 músculos evaluados, se evidenció que estas fueron muy bajas y no siguieron la secuencia de activación esperada. En una evaluación previa de fuerza muscular abdominal se identificó que el sujeto presenta una calificación de 2 en la escala de Daniel's (movimiento activo sin vencer la gravedad) y la fuerza de los músculos extensores de columna fue de 3 (vence la gravedad, pero no la resistencia), lo que indica que sí presenta funcionalidad en éstos músculos, pero hay debilidad en los mismos. Un estudio realizado por Bjerkefors y cols en 2015 (51) en personas con lesión medular T6, donde se evaluó la actividad de los músculos abdominales, se encontró actividad muscular abdominal en tareas funcionales como flexiones, extensiones, rotaciones e inclinaciones, concluyendo que personas con lesión medular completa por encima de T6 pueden activar los músculos abdominales en respuesta a estímulos y durante contracciones máximas voluntarias (o intentadas); por consiguiente, al comparar los resultados de EMG del sujeto 3 quien presenta una lesión mucho más baja que los sujetos del estudio mencionado, se estima

que existe un alto potencial de mejora de su condición de tronco para desarrollar de manera óptima la actividad deportiva.

El sujeto 4 (lesión medular nivel T3, T4 y T5) presenta mayor compromiso a nivel del tronco, y es de suponerse según su condición clínica, que la lesión impide la llegada de la señal eléctrica a los músculos abdominales y parte de los músculos del dorso (10,28,30) Por ello, para mantener el control del tronco durante el lanzamiento, utiliza barra auxiliar de sujeción. Sin embargo, al analizar los registros electromiográficos llama la atención que, a pesar del compromiso medular, el sujeto registra actividad muscular de los 4 músculos evaluados, que aunque no es muy amplia, sí se presenta en la secuencia de ejecución del gesto. Lo anterior podría llevar a pensar que la lesión medular podría no ser completa o que la práctica deportiva regular permitió reforzar las conexiones restantes favoreciendo algún grado de activación, ya que la recuperación medular puede prolongarse durante un año después de la lesión (52). Lo anterior concuerda con una investigación realizada por Bjerkefors y cols en 2009 (53), en una persona con lesión medular clasificada clínicamente como completa nivel T3, a quien evaluaron con electromiografía de alambre fino y de superficie en músculos de tronco, midiendo activaciones musculares voluntarias y en respuesta a perturbaciones del equilibrio. Los autores hallaron actividad en todos los músculos evaluados incluso por debajo del nivel de lesión tanto en movimientos voluntarios como en las perturbaciones del equilibrio, concluyendo entre otras cosas que, la lesión medular estaba incompleta y que las inervaciones aún presentes podrían haberse reforzado durante la rehabilitación ya que la mayor parte de la recuperación neurológica se produce en los 2 primeros meses después de la lesión (52,53).

Se puede evidenciar en los deportistas sin lesión de tronco, que la amplitud de la señal electromiográfica medida en milivoltios fue mayor, mientras que en los deportistas con lesión medular los valores de activación fueron menores. Lo anterior coincide con lo reportado por Aparicio en 2005 y García González en 2013 (3,14) quienes concuerdan que entre más sea la contracción muscular, mayor es el pico de voltaje, por lo que es razonable que aquellos deportistas sin compromiso medular presenten mayores registros de actividad.

La simulación computacional es una herramienta tecnológica que cada vez se utiliza más para comprender el comportamiento biomecánico de las estructuras del cuerpo humano (54,55). Sin embargo, es importante recalcar la complejidad en el uso del software ya que implica conocimientos de programación y tener condiciones de laboratorio para realizar capturas de movimiento las cuales no siempre son fáciles o asequibles. Se han reportado estudios que evidencian el uso de la simulación específicamente para el análisis de las acciones musculares (18,40,41,54,56). Por ejemplo, el estudio realizado por Kunze en

el 2012 (41), validaron el uso de la simulación computacional comparándolo con EMG en el músculo deltoides durante los movimientos de abducción a diferentes ángulos y con variación de carga, encontrando alta confiabilidad entre los dos métodos de evaluación. En 2016, Ji y cols también realizaron una validación entre los resultados de simulación computacional con AnyBody y los obtenidos mediante EMG, en sujetos que realizaban levantamiento de barra de peso en modalidad de press de banca con agarres a diferentes distancias. Los resultados de actividad en los grupos musculares evaluados en ambas modalidades fueron coincidentes (18).

En la presente investigación, la simulación computacional se realizó en una persona que no presentaba ninguna alteración clínica de tronco. Los resultados de esa evaluación con el software AnyBody, mostraron que todos los músculos evaluados registraron actividad en la secuencia esperada según la fase del lanzamiento que ejecutó (17), correlacionándolo con lo explicado en los resultados anteriores tanto del análisis cualitativo como el de EMG. Sin embargo, es importante resaltar que para este análisis del gesto de lanzamiento no se lanzó ningún objeto (bala) por las condiciones del laboratorio y por tal razón es posible que ese factor le haya disminuido amplitud a la señal tanto electromiográfica como de la simulación, dado que al no tener un objeto que lanzar, la aceleración del tronco se ve afectada por la disminución de la masa y por tanto la fuerza muscular requerida es menor (18).

Los resultados tanto de la simulación computacional como de EMG fueron coincidentes. Sin embargo, el software AnyBody da los resultados en porcentajes de activación con relación a una contracción máxima voluntaria, mientras que la EMG da los resultados en milivoltios. A pesar de esas diferencias, el patrón de activación, es decir los tiempos en los que se producen los cambios en la amplitud de la señal, fueron muy similares. No obstante, en la EMG del músculo iliocostal se observan periodos de activación en tiempos diferentes a las mostradas por AnyBody, pero con una secuencia que no difiere mucho. La similitud entre la simulación computacional y la EMG, coinciden con lo referenciado en otros estudios de validación que demuestran la aproximación entre ambas evaluaciones (18,41).

Parte de la discusión de los resultados se vio limitada por el escaso número de estudios publicados en relación a la anatomía funcional de éste tipo de población y durante la ejecución de tareas relacionadas con el lanzamiento adaptado. La escasa evidencia sobre el tema hace de éste trabajo pionero en la temática y se espera que sirva como base para investigaciones futuras relacionadas con lo aquí mencionado.

8 CONCLUSIONES

- Considerar lo reportado en la literatura que permite generar una descripción anatómico funcional cualitativa, no es suficiente para realizar el análisis en pacientes con lesión medular, dado que la recuperación de la lesión después de un evento, puede diferir con el tiempo en relación a las condiciones iniciales y permitir el paso de información nerviosa inferior al nivel clínico de la lesión.
- Con relación a la electromiografía, es un método más preciso para evaluar y medir activaciones musculares durante la realización de actividades funcionales y deportivas. En éste estudio, la EMG permitió evidenciar la actividad de los cuatro músculos evaluados en cada deportista, determinando la importancia de los músculos abdominales, dado que son los que representan mayor activación durante las fases que requieren más desplazamiento y fuerza como la extensión y la flexión de tronco para el lanzamiento. El músculo erector de la columna, participó en casi toda la trayectoria del movimiento, pero con menos amplitud de señal.
- Con relación a la simulación computacional los resultados obtenidos de un sujeto sano facilitan el análisis, sin embargo, al considerar un sujeto con lesión medular, el análisis no es tan evidente por la complejidad de la clínica y requiere de métodos adicionales como la electromiografía que permitan corroborar los resultados. Por ello se hace necesario realizar más estudios de éste tipo que permitan evidenciar cambios asociados a las lesiones medulares.
- Realizar el análisis de la Anatomía Funcional junto con evaluación electromiográfica durante el lanzamiento de bala paralímpico, es importante para optimizar el rendimiento deportivo, desarrollar sistemas de entrenamiento específicos y de educación en higiene postural, que eviten mecanismos de lesión que aumenten el nivel de discapacidad física.
- La electromiografía es adecuada para evaluar los músculos del tronco, sin embargo, hay algunos músculos intrínsecos que no se pueden evaluar por la profundidad en su ubicación. Por ello, los softwar de simulación pueden ser una buena herramienta para evaluar aquellos grupos musculares que se dificultan mediante EMG.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar estudios en poblaciones paralímpicas de otras modalidades deportivas que permitan evaluar el gesto deportivo e implementar sistemas de mejoramiento de la técnica y de prevención de lesiones.
- Se considera importante realizar estudios electromiográficos con un mayor número de canales, de manera que permita analizar el comportamiento de más grupos musculares y así orientar mejor los entrenamientos y las rehabilitaciones.
- Realizar más estudios que involucren el análisis de simulación computacional por fuera del laboratorio, de manera que permita evaluar el gesto deportivo en el campo de entrenamiento y competencia.
- Se recomienda que a los deportistas paralímpicos que desarrollan gestos deportivos tan complejos como el lanzamiento de bala en silla, se les realicen evaluaciones como la electromiografía y la simulación computacional como parte del diagnóstico inicial, para que los planes de entrenamiento sean más dirigidos a las necesidades individuales de cada sujeto.

9 BIBLIOGRAFÍA

1. Hamill J, Knutzen KM. Biomechanical basis of human movement. Lippincott Williams & Wilkins; 2006.
2. Reina R, Vilanova-períz N. Guía sobre clasificación de la discapacidad en deporte paralímpico. In: Limencop S.L., editor. España; 2016. p. 31–7.
3. Aparicio MAV. Electromiografía cinesiológica. Rehabilitación. 2005;39(6):255–64.
4. Kunii T, Sun L. Computer-implemented motion analysis method using dynamics. Google Patents; 1997.
5. Reina R. Inclusión en deporte adaptado: dos caras de una misma moneda. 2014;
6. Ruiz S. Deporte paralímpico: una mirada hacia el futuro. Rev UDCA Actual Divulg Científica. 2012;15:97–104.
7. Tweedy SM, Vanlandewijck YC. International Paralympic Committee position stand—background and scientific principles of classification in Paralympic sport. Br J Sports Med. 2011;45(4):259–69.
8. Sant JR. Metodología y técnicas de atletismo. Editorial Paidotribo; 2005.
9. Hyde A, Hogarth L, Sayers M, Beckman E, Connick MJ, Tweedy S, et al. The Impact of an Assistive Pole, Seat Configuration, and Strength in Paralympic Seated Throwing. Int J Sports Physiol Perform. 2017;12(7):977.
10. Moore KL, Dalley AF. Anatomía con orientación clínica. Ed. Médica Panamericana; 2009.
11. Mundial B. Informe mundial la discapacidad. Educación. 2011;218(219):219.
12. Elpaís.com.co. ¿Sabe cuántas personas en situación de discapacidad viven en Cali? [Internet]. Noviembre 04, 2011 - 12:00 a.m. Available from: <https://www.elpais.com.co/calí/sabe-cuantas-personas-en-situacion-de->

discapacidad-viven-en.html

13. El Congreso de Colombia. Ley 582 de Junio 8 de 2000. 2000 Jun 8;1.
14. García González L. Beneficios de la actividad física y deportiva en personas con discapacidad: La opinión de los deportistas. 2013;
15. Chow JW, Chae W-S, Crawford MJ. Kinematic analysis of shot-putting performed by wheelchair athletes of different medical classes. *J Sports Sci.* 2000;18(5):321–30.
16. Chow JW, Kuenster AF, Lim Y. Kinematic analysis of javelin throw performed by wheelchair athletes of different functional classes. *J Sports Sci Med.* 2003;2(2):36.
17. Rotawisky D, Chiquito D. Análisis cinemático del tronco y miembros superiores en el lanzamiento de bala y jabalina en atletas paralímpicos del valle del cauca. Universidad del Valle; 2017.
18. Ji Z, Wang H, Jiang G, Li L. Analysis of muscle activity utilizing bench presses in the anybody simulation modelling system. *Model Simul Eng.* 2016;2016.
19. AnyBody Technology. The AnyBody Modeling System [Internet]. 2017. Available from: <https://www.anybodytech.com/software/>
20. Lee S, Davis R, Judge LW, Kwon Y-H, Han K, Kim J, et al. Gender-based correlation profiles among the release factors and distance thrown in paralympic seated shot put. *Adapt Phys Act Q.* 2015;32(4):318–30.
21. Kyriazis TA, Terzis G, Boudolos K, Georgiadis G. Muscular power, neuromuscular activation, and performance in shot put athletes at preseason and at competition period. *J Strength Cond Res.* 2009;23(6):1773–9.
22. Hermann GW. An electromyographic study of selected muscles involved in the shot put. *Res Quarterly Am Assoc Heal Phys Educ Recreat.* 1962;33(1):85–93.
23. Instituto del Deporte Educación Física y Recreación del Valle del Cauca. INDERVALLE [Internet]. La Entidad, Historia. 2012. Available from:

<http://indervalle.gov.co/historia/>

24. Cano-De-La-Cuerda R, Molero-Sánchez A, Carratalá-Tejada M, Alguacil-Diego IM, Molina-Rueda F, Miangolarra-Page JC, et al. Theories and control models and motor learning: clinical applications in neurorehabilitation. *Neurol* (English Ed. 2015;30(1):32–41.
25. Official website of World Para Athletics. Visión [Internet]. 2012. Available from: <https://www.paralympic.org/athletics>
26. Committee IP. Athletics rules and regulations 2016–2017. Bonn: International Paralympic Committee; 2016.
27. Müller H, Ritzdorf W. ¡ Correr!¡ Saltar!¡ Lanzar!. Guía oficial IAAF para la enseñanza del atletismo. Santa Fé, Argentina: Imprenta Lux; 2009.
28. Latarjet M, Liard AR. Anatomía humana. Vol. 2. Ed. Médica Panamericana; 2004.
29. Pró EA. Anatomía clínica. Panamericana Buenos Aires; 2014.
30. Ives Chatain L, Bustamante J. Anatomía macroscópica funcional y clínica. Addison-Wesley Iberoamericana; 1986.
31. Netter FH. Atlas of human anatomy. 1998;
32. Musculatura abdominal [Internet]. 2015. Available from: <https://nutrisaludeportiva.com/articulos/actividad-fisica-y-deporte/224-abdominales-para-un-ventre-plano>
33. Fernández JM, Acevedo RC, Tabernig CB. Influencia de la fatiga muscular en la señal electromiográfica de músculos estimulados eléctricamente. *Rev EIA*. 2007;(7):111–9.
34. Rojas Martínez M, Mañanas Villanueva MÁ. Electromiografía de superficie multicanal como herramienta no invasiva en la rehabilitación neuromuscular. In: 4o Simposio CEA Bioingeniería 2012. Universidad de Valladolid; 2012. p. 73–9.

35. Massó N, Rey F, Romero D, Gual G, Costa LI GA. Aplicaciones de la electromiografía de superficie en el deporte. *Apunts Med Esport*. 2010 [citado 16 feb 2016]; 45 (166): 127-136.
36. Swinnen E, Baeyens J-P, Meeusen R, Kerckhofs E. Methodology of electromyographic analysis of the trunk muscles during walking in healthy subjects: a literature review. *J Electromyogr Kinesiol*. 2012;22(1):1–12.
37. Stegeman D, Hermens H. Standards for surface electromyography: The European project Surface EMG for non-invasive assessment of muscles (SENIAM). *Enschede Roessingh Res Dev*. 2007;108–12.
38. Alfonso R, Carbonell G, Nápoles Padrón E, Calderín Pérez B, Cisneros Hidalgo Y, Landín Sorí M. Carácter interdisciplinario de la modelación computacional en la solución de problemas de salud. *Humanidades Médicas*. 2014;14(3):646–58.
39. Delp SL, Anderson FC, Arnold AS, Loan P, Habib A, John CT, et al. OpenSim: open-source software to create and analyze dynamic simulations of movement. *IEEE Trans Biomed Eng*. 2007;54(11):1940–50.
40. Damsgaard M, Rasmussen J, Christensen ST, Surma E, De Zee M. Analysis of musculoskeletal systems in the AnyBody Modeling System. *Simul Model Pract Theory*. 2006;14(8):1100–11.
41. Kunze M, Fischer M, Voigt C, Scholz R, Strauss G. Comparison of multi-body simulations and EMG measurements on the M. deltoideus acromialis. 2012;
42. Avellaneda Camarena AI. Análisis electromiográfico de la musculatura abdominal y paravertebral durante la realización de ejercicios basados en el Método Pilates. Universidad de Murcia; 2013.
43. Sternlicht E, Rugg S. Electromyographic analysis of abdominal muscle activity using portable abdominal exercise devices and a traditional crunch. *J Strength Cond Res*. 2003;17(3):463–8.

44. Waters RL, Morris JM. Electrical activity of muscles of the trunk during walking. *J Anat.* 1972;111(Pt 2):191.
45. Hirashima M, Kadota H, Sakurai S, Kudo K, Ohtsuki T. Sequential muscle activity and its functional role in the upper extremity and trunk during overarm throwing. *J Sports Sci.* 2002;20(4):301–10.
46. Pink M, Perry J, Jobe FW. Electromyographic analysis of the trunk in golfers. *Am J Sports Med.* 1993;21(3):385–8.
47. Watkins RG, Uppal GS, Perry J, Pink M, Dinsay JM. Dynamic electromyographic analysis of trunk musculature in professional golfers. *Am J Sports Med.* 1996;24(4):535–8.
48. Morini S, Ciccarelli A, Cerulli C, Giombini A, Di Cesare A, Ripani M. Functional anatomy of trunk flexion-extension in isokinetic exercise: muscle activity in standing and seated positions. *J Sport Med Phys Fit.* 2008;23.
49. Roig M, O'Brien K, Kirk G, Murray R, McKinnon P, Shadgan B, et al. The effects of eccentric versus concentric resistance training on muscle strength and mass in healthy adults: a systematic review with meta-analysis. *Br J Sports Med.* 2009;43(8):556–68.
50. Newham DJ, McPhail G, Mills KR, Edwards RHT. Ultrastructural changes after concentric and eccentric contractions of human muscle. *J Neurol Sci.* 1983;61(1):109–22.
51. Bjerkefors A, Squair JW, Chua R, Lam T, Chen Z, Carpenter MG. Assessment of abdominal muscle function in individuals with motor-complete spinal cord injury above T6 in response to transcranial magnetic stimulation. *J Rehabil Med.* 2015;47(2):138–46.
52. Harvey L. Management of Spinal Cord Injuries E-Book: A Guide for Physiotherapists. Elsevier Health Sciences; 2008.

53. Bjerkefors A, Carpenter MG, Cresswell AG, Thorstensson A. Trunk muscle activation in a person with clinically complete thoracic spinal cord injury. *J Rehabil Med.* 2009;41(5):390.
54. Reinbolta JA, Sethb A, Delpb SL. Simulation of human movement: applications using OpenSim. 2011;
55. Tarifa EE. Teoría de Modelos y Simulación.
56. Seth A, Hicks JL, Uchida TK, Habib A, Dembia CL, Dunne JJ, et al. OpenSim: Simulating musculoskeletal dynamics and neuromuscular control to study human and animal movement. *PLoS Comput Biol.* 2018;14(7):e1006223.

9. ANEXOS

ANEXO 1. Consentimiento Informado



**Universidad del Valle Facultad de Salud
Escuela de Ciencias Básicas
Maestría en Ciencias Biomédicas
Proyecto de Investigación**

CONSENTIMIENTO INFORMADO

Este Formulario de Consentimiento Informado se dirige a deportistas paralímpicos practicantes de atletismo en las disciplinas de lanzamiento de bala pertenecientes a INDervalle, a quienes se invitan a ser partícipes del proyecto de grado “Caracterización anatómica funcional y biomecánica de los músculos del tronco durante el lanzamiento de bala paralímpico” que se realizará por la estudiante de Maestría en ciencias biomédicas Luz Edith Pérez Trejos.

Información Relevante

El deporte adaptado se ha implementado además de cómo proceso de rehabilitación, como forma de integrarse socialmente, sin embargo, las investigaciones en este campo aún son limitadas, por lo que el propósito de este estudio es realizar una caracterización de la anatomía funcional y la biomecánica de los movimientos durante el lanzamiento para mejorar la marca, implementar programas deportivos y prevenir lesiones.

Selección de participantes: Se invitará a los deportistas de altos logros que practiquen atletismo campo adaptado en la modalidad de bala que compiten en Indervalle y que lleven más de seis meses practicando el deporte. Su participación en esta investigación es totalmente voluntaria. Usted puede elegir participar o no hacerlo. Tanto si elige participar o no, continuarán todos los servicios ofrecidos por el deporte y por INDervalle que y nada cambiará. Usted puede cambiar de idea más tarde y dejar de participar aun cuando haya aceptado antes.

Descripción del Proceso: Se le realizará una encuesta, se le preguntarán datos personales, historia clínica y la clasificación médico – funcional a la que pertenece. La toma de datos electromiográficos se realizará un único día durante su entrenamiento habitual, se preparará la piel y se colocarán unos electrodos en el abdomen y la espalda, luego debe realizar el

lanzamiento y se tomarán los registros de activación muscular. Finalmente se citará a un deportista al laboratorio de biomecánica de la Universidad libre, a él o ella se le solicitará que desde una silla similar a la del entrenamiento, realice el lanzamiento mientras es grabado, la información será analizada por un software de análisis computacional denominado Anybody que arroja información referente a los esfuerzos musculares. La investigación durará 2 días en total y durante ese tiempo, será necesario que el deportista practique activamente su deporte acorde a los entrenamientos y no se sobrecargue. Una vez finalizada la toma de datos la participación del deportista en la investigación será dada por terminada.

Efectos secundarios y riesgos: La recolección de los datos no presentan ningún efecto negativo a corto o largo plazo. Sin embargo, puede presentar irritación de la piel por la colocación de los electrodos del equipo de electromiografía o riesgo eléctrico por los electrodos del mismo equipo. Para disminuir el riesgo de irritación de la piel se usará un líquido que ayudará con la limpieza de la piel, que es usado en los procedimientos clínicos de rutina. El riesgo eléctrico será controlado evitando usar electrodos en mal estado. Se usarán electrodos nuevos para la investigación. Además, los deportistas cuentan con un área segura en Indervalle y en la Universidad Libre donde serán tomados algunos datos.

Beneficios e Incentivos: La participación en este proyecto beneficiará a los deportistas al ofrecer al entrenador y a los fisioterapeutas que lo acompañan, información sobre la activación muscular y los esfuerzos musculares durante la realización del gesto deportivo y así poder tomar acciones que puedan mejorar su condición deportiva y prevenir lesiones. Tenga en cuenta que NO se dará ningún dinero o equivalente por hacer parte de esta investigación.

Confidencialidad: La información que se recoja de este proyecto de investigación se mantendrá confidencial, la información acerca de los deportistas que se recogerá durante la investigación solo será manejada por los investigadores y no podrán ser utilizadas con otro propósito. Cualquier información referente a los deportistas tendrá un número en vez de su nombre. Solo los investigadores sabrán cuál es el número de cada participante.

Resultados: El conocimiento que obtengamos por realizar esta investigación se compartirá con los deportistas participantes y ante INDERVALLE antes de que se haga disponible al público. No se compartirá información confidencial. Se publicarán los resultados para que otras personas interesadas puedan aprender de nuestra investigación.

Derecho a retirarse o negarse: El deportista no tiene por qué participar en esta investigación si no desea hacerlo y el negarse a participar no le afectará en ninguna forma tanto en su práctica deportiva como en la relación con INDERVALLE. Puede dejar de participar en la investigación en cualquier momento que quiera, es su elección y todos sus derechos serán respetados.

A Quién Contactar

Si tiene cualquier pregunta puede hacerlas ahora o más tarde, incluso después de haberse iniciado el estudio. Si desea hacer preguntas más tarde, puede contactar cualquiera de las siguientes personas:

- Luz Edith Pérez Trejos
Cel: 3185568407
Correo: luzpereztrejos@gmail.com
- Lessby Gómez
Directora del Proyecto
Cel: 3012324545
- Sonia Osorio
Co-Tutora
Cel: 3177366449
- Comité de ética de la Universidad del Valle
Tel: (2) 518 56 77
Correo: eticasalud@correounivalle.edu.co

Formulario de Consentimiento

He sido invitado a participar en la investigación de la Caracterización anatómica funcional y biomecánica de los músculos del tronco durante el lanzamiento de bala paralímpico. Entiendo que serán tomados mis datos demográficos y clínicos, además del registro de activación muscular y videográfico. He sido informado de que los riesgos son mínimos. Sé que puede que no haya beneficios para mi persona y que no se me recompensará. Se me ha proporcionado el nombre de un investigador que puede ser fácilmente contactado usando el nombre, el celular y la dirección de correo electrónico que se me ha dado de esa persona.

He leído la información proporcionada o me ha sido leída. He tenido la oportunidad de preguntar sobre ella y se me ha contestado satisfactoriamente las preguntas que he realizado. Consiento voluntariamente participar en esta investigación como participante y entiendo que tengo el derecho de retirarme de la investigación en cualquier momento sin que me afecte mi práctica deportiva.

Autorizo a los investigadores para utilizar la información recolectada en otras investigaciones similares futuras, previa aprobación del Comité de Ética de la Universidad del Valle.

SI__ o NO__

Nombre del Participante_____

Firma del Participante_____

Fecha_____Día/mes/año

He sido testigo de la lectura exacta del documento de consentimiento para el potencial participante y el individuo ha tenido la oportunidad de hacer preguntas. Confirmando que el individuo ha dado consentimiento libremente.

Nombre del testigo 1 _____ Huella dactilar del participante

Firma del testigo _____ Fecha_____Día/mes/año

Nombre del testigo 2 _____ Huella dactilar del participante

Firma del testigo _____ Fecha_____Día/mes/año

Ha sido proporcionada al participante una copia de este documento de Consentimiento Informado _____(iniciales del investigador)

FIRMAS AUTORES

INVESTIGADOR PRINCIPAL

DIRECTOR DE PROYECTO

CO-TUTOR DE PROYECTO

ANEXO 2. Datos demográficos y clínicos



Universidad del Valle Facultad de Salud
Escuela de Ciencias Básicas
Maestría en Ciencias Biomédicas
Proyecto de Investigación

DATOS DEMOGRAFICOS Y CLINICOS											
FECHA_				EVALUADOR__							
TIPO DE DOCUMENTO			TI	CC	No				De:		
FECHA DE NACIMIENTO						TELEFONO			CELULAR		
GÉNERO	F	M	EDAD	PESO	TALLA	IMC	T/A	FC			
MECANISMO DE LESIÓN	Herida por arma de fuego		Herida por arma corto punzante	Accidente de tránsito	Accidente deportivo		Patológico adquirido	Patológico congénito	Otro		
SECUELAS DE LA LESIÓN	Trauma Raquimedular		Espina Bífida	Poliomielitis	Articulaciones inestables		Artritis	Amputación		Hipertensión	
DIAGNOSTICO MEDICO							CLASIFICACIÓN MEDICO FUNCIONAL				
TIEMPO DE EVOLUCIÓN			_____ MESES _____ AÑOS								
DISCIPLINA DEPORTIVA											

ANEXO 3. Formato de Recolección de Datos Aspectos Cualitativos



Universidad del Valle Facultad de Salud
Escuela de Ciencias Básicas
Maestría en Ciencias Biomédicas
Proyecto de Investigación

ASPECTOS CUALITATIVOS					
FASE INICIAL: DE PREPARACION (FASE DE IMPULSO)					
TRONCO	MOVIMIENTO	EJE Y PLANO	APOYO DE MIEMBRO SUPERIOR		MÚSCULOS INVOLUCRADOS
			SI	NO	
FASE PRINCIPAL DE LANZAMIENTO					
TRONCO	MOVIMIENTO	EJE Y PLANO	APOYO DE MIEMBRO SUPERIOR		MÚSCULOS INVOLUCRADOS
			SI	NO	
FASE DE FINALIZACIÓN					

TRONCO	MOVIMIENTO	EJE Y PLANO	APOYO DE MIEMBRO SUPERIOR		MÚSCULOS INVOLUCRADOS
			SI	NO	

ANEXO 4. Protocolo VICON (Ubicación de marcadores reflectivos)

