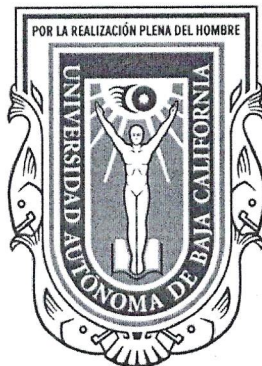


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE DEPORTES
LICENCIATURA EN ACTIVIDAD FÍSICA Y DEPORTE




Análisis Biomecánico de la Marcha en Estudiantes Universitarios con Obesidad y Normopeso de Mexicali, Baja California
TESIS
COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE LICENCIADO EN ACTIVIDAD FÍSICA Y DEPORTE


PRESENTA
Octavia Guadalupe García Murillo

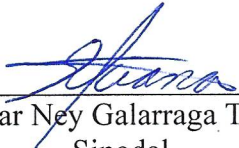
PRESIDENTE

Mirvana Elizabeth González Macías

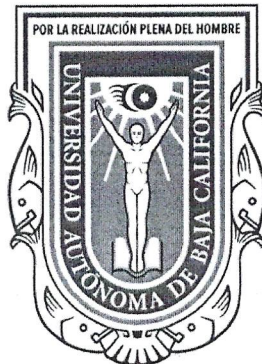

Karla Raquel Keys González
Secretario


Emilio Manuel Arayaes Millán
Sinodal


Cristhian Emmanuel López Campos
Sinodal


Edgar Ney Galarraga Triana
Sinodal

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE DEPORTES
LICENCIATURA EN ACTIVIDAD FÍSICA Y DEPORTE



Análisis Biomecánico de la Marcha en Estudiantes Universitarios con Obesidad y Normopeso de Mexicali, Baja California
TESIS

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE
LICENCIADO EN ACTIVIDAD FÍSICA Y DEPORTE

PRESENTA

Octavia Guadalupe García Murillo

DIRECTORA



Mirvana Elizabeth González Macías

CODIRECTOR(A)



Karla Raquel Keys González

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a mi Directora y Codirectora de Tesis, la Dr. Mirvana Elizabeth González Macías y la Mtra. Karla Raquel Keys González por llevarme de la mano en cada una de las etapas de este proyecto, ser grandes guías y consejeras.

También quiero agradecer al Mtro. Emilio Manuel Arráyaes Millán, Director de la Facultad de Deportes de la Universidad Autónoma de Baja California, por la confianza brindada y darme la oportunidad de conocer y utilizar el Laboratorio de Biomecánica y Ergonomía de la Facultad de Deportes, Campus Mexicali, UABC.

Sin duda, no dejaría de mencionar y agradecer al Dr. Raúl Baños por aparecer en el momento justo y ponerme en comunicación con las personas propicias para así materializar este proyecto.

Por último, quiero agradecer mis Padres por siempre estar ahí, darme la oportunidad de conocer el Mundo y aconsejarme sobre él, por acompañarme en esta lucha de tratar de “ser quien quiero” y “quien seré”, por “Staying back and watching me shine” y gracias por darme a las mejores hermanas; Fer y Regi, daría todo por ustedes sin duda alguna. Miriam, gracias por adoptarme emocionalmente en mi vida de estudiante universitaria foránea.

RESUMEN

La presente investigación se realizó en el Laboratorio de Biomecánica y Ergonomía en Mexicali, Baja California con el objetivo de analizar las alteraciones que se presentan en la marcha en un grupo de estudiantes universitarios de la Facultad de Deportes, UABC, campus Mexicali, evaluando parámetros espaciotemporales y cinemáticos. Se analizó la marcha sin calzado a 10 estudiantes obesos con un valor del IMC de 33.41 ± 2.67 (Media \pm DE) y con una edad de 21.8 ± 1.87 , así como a 10 estudiantes en normopeso con un valor del IMC de 23.03 ± 1.26 y su edad 21.2 ± 1.39 . Las evaluaciones se realizaron utilizando el sistema de captura de movimiento VICON® con 11 cámaras infrarrojas Bonita 10 y 2 cámaras de video Bonita 720c de alta velocidad, con una frecuencia de muestreo de 100 Hz, 4 plataformas de fuerzas AMTI™ y 39 marcadores reflectantes sobre los sujetos asociados a referencias anatómicas. El volumen del espacio, en función de la ubicación de las cámaras y plataformas de fuerzas, ha sido 6 x 4 m. Todos los equipos han sido sincronizados y analizados a través del software de Nexus 2.0. Dentro del estudio, se identificó diferencia significativa en las variables peso, IMC, grasa corporal, grasa visceral, ángulo de extensión de tobillo en fase de balanceo tanto del tobillo derecho como del izquierdo, presentando un valor mayor en el grupo de los sujetos con obesidad pudiendo ser causante de caídas por tropiezos, una mayor extensión de tobillo en la fase de balanceo dejaría la punta del pie más cercana al suelo.

Palabras claves: Cinemática, Cinética, Espaciotemporales, Bioimpedancia.

SUMMARY

This research was carried out at the Biomechanics and Ergonomics Laboratory in Mexicali, Baja California with the aim of analyzing the alterations that occur in gait in a group of university students from the Facultad de Deportes, UABC, Mexicali campus, evaluating spatio-temporal parameters and kinematics. Walking without shoes was analyzed in 10 obese students with a BMI value of 33.41 ± 2.67 (Mean SD) and an age of 21.8 ± 1.87 , as well as 10 students with normal weight with a BMI value of 23.03 ± 1.26 and their age 21.2 ± 1.39 . The evaluations were performed using the VICON® motion capture system with 11 Bonita 10 infrared cameras and 2 Bonita 720c high speed video cameras, with a sampling rate of 100 Hz, 4 AMTI™ force platforms and 39 reflective markers on subjects associated with anatomical landmarks. The space volumen, depending on the location of the chambers and force platforms, has been 6 x 4 m. All computers have been synchronized and analyzed through Nexus 2.0 software. Within the study, a significant difference was identified in the variables weight, BMI, body fat, visceral fat, of the ankle's extension angle in the swing phase of both the right and left ankle, presenting a higher value in the group of obese subjects. Being able to be the cause of stumbling falls, a greater extension of the ankle in the swing phase would leave the tip of the foot closer to the ground.

Keywords: Kinematics, Kinetics, Spatio-temporal, Bioimpedance.

INDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	7
CAPÍTULO I	10
1.1 Marcha humana	10
1.1.1 Descripción de la marcha humana	10
1.1.1.1 Fases y eventos de la Marcha humana	10
1.1.1.2 Parámetros Espaciotemporales	13
1.1.1.3 Parámetros Cinemáticos	15
1.1.1.4 Parámetros Cinéticos	16
1.1.2 Alteraciones de la Marcha en Patologías	16
1.2 Obesidad	16
1.2.1 Determinación de la Obesidad	16
1.2.2 Clasificación de la Obesidad según la OMS	17
1.2.3 Consecuencias e implicaciones de la Obesidad	18
1.3 Bioimpedancia	18
1.3.1 Análisis de Composición Corporal por Bioimpedancia	18
1.3.2 Principios de análisis de impedancia bioeléctrico (BIA)	19
1.3.3 Medición de frecuencia múltiple	21
1.4 Instrumentos de Captura de Movimiento	22
1.4.1 Sistema VICON®	22
1.4.2 Sistema BIOVECT™ de AMTI™	23
1.5 Adquisición de Datos	25
1.5.1 Protocolo	25
1.5.2 Modelo de marcadores y modelo mecánico	26
1.6 Procesamiento de Datos	28
1.6.1 Medidas del sujeto	28
1.6.2 Etiquetado de los marcadores	29
CAPÍTULO II	34
ANTECEDENTES	34
2.1 Investigaciones previas	34
2.2 Planteamiento del problema	38
CAPÍTULO III	40
OBJETIVOS	40
3.1 Objetivo General	40
3.2 Objetivos específicos	40
CAPÍTULO IV	41
MATERIAL Y MÉTODOS	41
4.1 Participantes	41
4.1.1 Participantes del estudio con obesidad y normopeso	41
4.2 Análisis biomecánico de la marcha humana a participantes con obesidad y normopeso	44

4.3 Análisis estadístico.....	45
CAPÍTULO V	46
RESULTADOS	46
5.1 Resultados	46
CAPÍTULO VI	66
DISCUSIÓN	66
6.1 Discusión.....	66
CAPÍTULO VII	69
CONCLUSIONES	69
7.1 Conclusiones	69
7.2 Líneas futuras	69
LITERATURA CITADA	70
ANEXOS	72

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representación de los dos principales componentes de la marcha.	11
Figura 2. Fases de la marcha.....	12
Figura 3. Fases y subfases de la marcha.	13
Figura 4. Tipos de Obesidad	18
Figura 5. Forma en que el analizador de composición corporal evalúa la impedancia en el cuerpo humano.	20
Figura 6. Medición de frecuencia múltiple, paso de frecuencia a través de la célula. ...	22
Figura 7. a) Cámara de iluminación infrarroja VICON® bonita, b) Cámara VICON® bonita 720c, c) Marcadores reflectantes pasivos y d) Software Nexus 2.	23
Figura 8. a) Plataforma de fuerza modelo OR6-6 de AMTI™, b) plataforma de fuerza modelo OR6-7 de AMTI™.	24
Figura 9. Digitalización de los segmentos	27
Figura 10. Esquema de la colocación de los marcadores sobre el cuerpo humano.	33
Figura 11. Gráfica del comportamiento flexo-extensión (plano sagital) de cadera dcha. durante la marcha.	48
Figura 12. Gráfica del comportamiento flexo-extensión (plano sagital) de cadera izq. durante la marcha.	48
Figura 13. Gráfica del comportamiento flexo-extensión (plano sagital) de la rodilla izq. durante la marcha.	49
Figura 14. Gráfica del comportamiento flexo-extensión (plano sagital) de la rodilla dcha. durante la marcha.	49
Figura 15. Gráfica del comportamiento flexo-extensión (planti-dorsiflexión) del tobillo dcho. durante la marcha (plano sagital).	50
Figura 16. Gráfica del comportamiento flexo- extensión (planti-dorsiflexión) del tobillo izq. durante la marcha (plano sagital).	50
Figura 17. Gráfica del índice de masa corporal del grupo en normopeso y con obesidad	62
Figura 18. Gráfica de grasa corporal de los estudiantes con normopeso y con obesidad	63
Figura 19. Gráfica de la variable masa de músculo esquelético de los estudiantes con normopeso y con obesidad.	64
Figura 20. Gráfica de la variable ángulo de tobillo izquierdo en la fase de balanceo extensión de los estudiantes con normopeso y con obesidad.	65

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación Índice de Masa Corporal según la OMS.....	17
Tabla 2. Descripción de los parámetros establecidos por la guía del producto Plug-in Gait de VICON®.....	28
Tabla 3. Descripción de la posición de los marcadores que se colocan en la zona de la cabeza.....	29
Tabla 4. Descripción de la posición de los marcadores que se colocan en la zona del torso.....	29
Tabla 5. Descripción de la posición de los marcadores que se colocan en el brazo izquierdo.....	30
Tabla 6. Descripción de la posición de los marcadores que se colocan en el brazo derecho.....	30
Tabla 7. Descripción de la posición de los marcadores que se colocan en la zona de la pelvis.....	31
Tabla 8. Descripción de la posición de los marcadores que se colocan en la pierna izquierda.....	31
Tabla 9. Descripción de la posición de los marcadores que se colocan en la pierna derecha.....	32
Tabla 10. Descripción de la posición de los marcadores que se colocan en el pie izquierdo.....	32
Tabla 11. Descripción de la posición de los marcadores que se colocan en el pie derecho.....	32
Tabla 12. Registro de los participantes con IMC >30.....	42
Tabla 13. Registro de los participantes con normopeso.....	42
Tabla 14. Registro de las dimensiones antropométricas de los sujetos con IMC >30....	43
Tabla 15. Registro de las dimensiones antropométricas de los sujetos con normopeso.	43
Tabla 16. Ángulos obtenidos de la cadera derecha durante 3 ciclos de la marcha del grupo en normopeso.....	47
Tabla 17. Ángulos proyectados de la cadera durante 3 ciclos de marcha del grupo IMC >30.....	47
Tabla 18. Estadística descriptiva de las variables analizadas de los estudiantes con normopeso.....	51
Tabla 19. Estadística descriptiva de las variables analizadas de los estudiantes con obesidad.....	52
Tabla 20. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk de las variables analizadas.....	54

Tabla 21. Comparación de medias entre el grupo con obesidad y el normopeso, media aritmética e intervalo de confianza del 95%.....	56
Tabla 22. Correlación de Pearson de todas las variables evaluadas.	58
Tabla 23. Longitud de zancada (m) de pierna izquierda durante 3 ciclos de marcha. ...	73
Tabla 24. Longitud de zancada (m) de pierna derecha durante 3 ciclos de marcha.	73
Tabla 25. Longitud (m) de paso de 3 ciclos de marcha.....	74
Tabla 26. Velocidad promedio del centro de masa.	74
Tabla 27. Cadencia de la marcha.	75
Tabla 28. Ángulos proyectados durante 3 ciclos de marcha por la rodilla izquierda. ...	75
Tabla 29. Promedio de los ángulos proyectados durante 3 ciclos de marcha por la rodilla derecha.	76
Tabla 30. Los ángulos proyectados durante 3 ciclos de la marcha por el tobillo izquierdo.....	76
Tabla 31. Los ángulos proyectados durante 3 ciclos de la marcha por el tobillo derecho.	77
Tabla 32. Los ángulos proyectados por la cadera durante 3 ciclos de la marcha.....	77
Tabla 33. Tiempo transcurrido en apoyo sencillo.	78
Tabla 34. Tiempo transcurrido en los apoyos dobles.	78
Tabla 35. Longitud (m) de zancada de la pierna izquierda durante 3 ciclos de marcha.	79
Tabla 36. Longitud (m) de zancada de la pierna derecha durante 3 ciclos de marcha. .	79
Tabla 37. Longitud (mm) de paso durante 3 ciclos de marcha.	80
Tabla 38. Velocidad del centro de masa durante la marcha.	80
Tabla 39. Cadencia.	81
Tabla 40. Ángulos proyectados por la rodilla izquierda durante 3 ciclos de marcha. ...	81
Tabla 41. Ángulos proyectados por la rodilla derecha durante 3 ciclos de marcha.	82
Tabla 42. Ángulos proyectados por el tobillo izquierdo durante tres ciclos de marcha. .	82
Tabla 43. Ángulos proyectados por el tobillo derecho durante tres ciclos de marcha. ..	83
Tabla 44. Ángulos proyectados por la cadera durante la marcha.	83
Tabla 45. Tiempo transcurrido en apoyo sencillo.	84
Tabla 46. Tiempo transcurrido en apoyo doble.	84

INTRODUCCIÓN

La marcha humana ha sido un tema de análisis por un largo tiempo, estudiada por Aristóteles, Hipócrates, Galeno, Leonardo Da Vinci, Honore de Balzac, entre otros; donde la observación ha sido el principal medio para llevar a cabo la tarea de investigación (Collado & Carrillo, 2015).

Se describe la marcha humana como un modo de locomoción bípeda que combina períodos de apoyo monopodal y bipodal, comprendido como un proceso complejo, resultado de la sinergia entre el cerebro, la médula espinal, los nervios periféricos, los músculos, los huesos y las articulaciones (Arellano-González et al., 2019).

Aristóteles (384–322 a. C.) aportó uno de los primeros escritos con referencia al análisis de la marcha, donde se menciona que, si un hombre caminara junto a la pared con una caña mojada en tinta pegada a su cabeza, esta trazará una línea en zig-zag y no recta, donde los puntos más altos del trazo son por la acción de la persona de levantarse así mismo al dar el paso (Baker, 2007).

Grandes aportes se dieron en la época del renacimiento, atribuidos a los experimentos y la teorización de Giovanni Borelli (1608-1679), se ha de mencionar que fue el primero en interpretar un experimento de análisis de la marcha. En su obra titulada “De Motu animalium” concibe al organismo de una forma mecanicista y utiliza sistemáticamente el principio de la palanca para estudio del movimiento humano y considera la relación del sistema óseo y muscular (Baker, 2007; Collado, 2004).

Los siguientes grandes avances se dieron en la era moderna, los hermanos Weber contribuyen con el primer análisis mecánico del paso humano en el año de 1836, en su obra “Mechanik der Menschlichen Gehwerkzeuge Gottingen” (mecanismo del caminar humano)

describen las fases de la marcha humana, el comportamiento del centro de gravedad y alteraciones. Posteriormente, con la invención de la fotografía, Etienne Jules Marey (1830–1904) trabajó en Francia donde utilizó la ciclofotografía, mientras Eadweard Muybridge (1830-1904) en América introdujo la “fotografía secuenciada” logrando grandes avances en el estudio biomecánico (Collado, 2004; Collado & Carrillo, 2015; García, 2017).

Uno de los principales desarrollos al principio del siglo XX fue la creación de placas de fuerza, que ayudaron en la comprensión cinética, las cuales registraban la actividad en dirección vertical, anteroposterior y medio lateral diseñadas por Jules Amar en 1916 (Collado, 2004; García, 2017).

Actualmente el análisis de la marcha ha cambiado de manera progresiva, se utilizan cámaras de video y sistemas de análisis de movimiento basados en imágenes digitales en tres dimensiones, así como la inclusión de software con la capacidad de analizar los datos obtenidos. El análisis biomecánico como lo conocemos hoy en día se remonta a principios de 1980 con la apertura del laboratorio desarrollado por el United Technologies Corporation en Newington (Connecticut) y los desarrollados por el equipo de Oxford actualmente Oxford Metrics en Boston, Glasgow y Dundee (García, 2017).

El estudio de la marcha ha sido analizado bajo diferentes situaciones para conocer si el patrón de marcha se ve modificado, el presente trabajo de tesis tiene como principal objetivo examinar las alteraciones que provocan la obesidad en los parámetros espaciotemporales y cinemáticos de la marcha en estudiantes universitarios.

Por medio de los parámetros cinemáticos se observan las variaciones angulares de las articulaciones del cuerpo, así como la inclinación, torsión y oscilación de los segmentos corporales (Collado, 2002; Villa Moreno et al., 2008). A su vez, los parámetros cinéticos permiten analizar aspectos del patrón como la oscilación vertical del centro de gravedad

(CG) durante el apoyo (fuerza vertical), las fuerzas de frenado y empuje (longitudinal) y la resistencia a la pronosupinación del pie (medio-lateral) (Villa Moreno et al., 2008). Los parámetros espaciotemporales son los más comunes para describir características del patrón de la marcha, como por ejemplo longitudes y duración de paso y zancada.

CAPÍTULO I

1.1 Marcha humana

1.1.1 Descripción de la marcha humana

Como se ha mencionado anteriormente, la marcha humana es un proceso de locomoción que se realiza en posición erecta de manera general, desplazando su centro de gravedad hacia delante donde se soporta el propio peso alternando ambos miembros inferiores, siendo esta la forma de desplazamiento con el costo energético más bajo (Arellano-González et al., 2019; Martín Nogueras et al., 1999).

1.1.1.1 Fases y eventos de la Marcha humana

Las fases de la marcha son el conjunto de divisiones del ciclo del caminado (Arellano-González et al., 2019). La marcha se compone por pasos que a su vez forman zancadas. A la zancada también se le denomina ciclo de la marcha (Cámara, 2011). El ciclo de la marcha se divide en dos principales componentes: la fase de apoyo y la fase de balanceo (Vera & Instituto de Biomecánica de Valencia, 1999).

El paso: Es la secuencia de eventos que sucede entre consecutivos puntos de contacto de los pies que se alternan en el suelo. Un paso está compuesto de un apoyo bipodal o doble apoyo y otro de un apoyo monopodal (apoyo sencillo). Dos pasos consecutivos forman una zancada. Se considera como paso izquierdo al momento que sucede desde el contacto inicial del pie derecho en el suelo hasta el apoyo del pie izquierdo. A su vez el paso derecho es el intervalo de acontecimientos desde el apoyo del pie izquierdo en el suelo hasta el apoyo del pie derecho (Cámara, 2011).

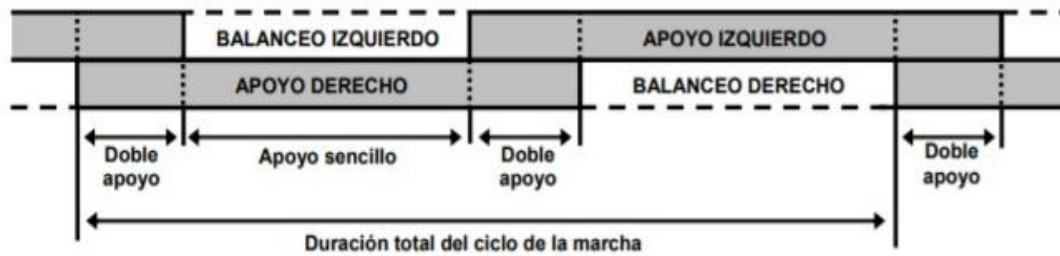


Figura 1. Representación de los dos principales componentes de la marcha.

Fuente: Adaptado de “Simulación del Ciclo de Marcha del Robot Bípodo Bioloid en el Entorno Virtual V-REP” por Tacué & Tacué, 2015.

La zancada: Una zancada o un ciclo de marcha inicia en el momento en el que un pie toca el suelo, considerándose el fin de la zancada el momento en el que el mismo pie vuelve a tocar el suelo. Una zancada está compuesta por dos apoyos dobles y dos apoyos sencillos, uno por cada pie. Se considera que la zancada derecha inicia con el contacto inicial del pie derecho con el suelo y finaliza con el contacto inicial consecutivo del pie derecho con el suelo. De la misma manera, el inicio de la zancada izquierda inicia con el contacto inicial del pie izquierdo con el suelo y finaliza con el contacto inicial consecutivo del pie izquierdo en el suelo (Cámara, 2011).

Fase de apoyo y balanceo: Se describe como fase de apoyo cuando un miembro inferior está en contacto con el suelo, a diferencia de la fase de balanceo, el miembro no está en contacto con el suelo. Durante la marcha estas fases se alternan entre ambos miembros (Vera & Instituto de Biomecánica de Valencia, 1999).

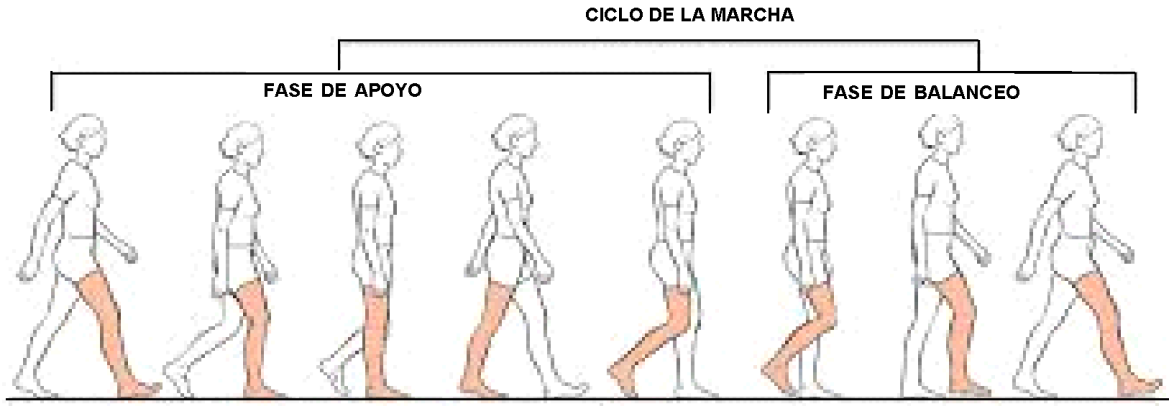


Figura 2. Fases de la marcha

Fuente: Adaptado de “Estudio Comparativo de Sistemas de Análisis de Marcha Basados en Sensores Inerciales y Cámaras Infrarrojas” por Yañez, 2018.

La fase de apoyo está dividida en cinco subfases, sin embargo, es posible encontrar literatura en la que se mencionen 3 periodos en la fase de apoyo en lugar de 5 (Gómez Hernández et al., 2011; Jiménez Leal et al., 2012).

Fase de contacto inicial (CI): Cuando el pie hace contacto con el suelo.

Fase inicial del apoyo (AI): En condiciones normales, es el momento que pasa entre el contacto inicial y el inicio de la fase de balanceo del pie contrario.

Fase media del apoyo (AM): Progresión del cuerpo sobre el pie en fase de apoyo, manteniendo la estabilidad del miembro y del tronco.

Fase final del apoyo (AF): Momento en el que el cuerpo adelanta el pie en fase de apoyo, provocando que el cuerpo caiga hacia adelante.

Fase previa a la oscilación (OP): Momentos antes de que inicie la fase de oscilación o fase de balanceo por parte del pie que estaba en apoyo (Collado, 2002; Gómez Hernández et al., 2011).

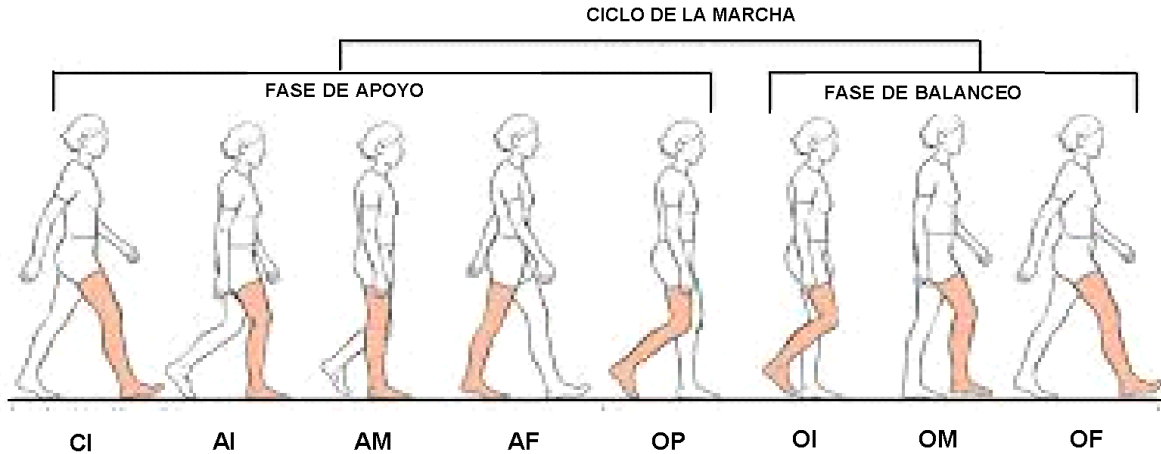


Figura 3. Fases y subfases de la marcha.

Fuente: Adaptado de “Estudio Comparativo de Sistemas de Análisis de Marcha Basados en Sensores Inerciales y Cámaras Infrarrojas” por Yañez, 2018.

Las 3 subfases de la oscilación o balanceo:

Fase inicial de la oscilación (OI): Se dice fase de balanceo cuando pie deja de hacer contacto con el suelo.

Fase media de la oscilación (OM): Momento en el que ambos miembros se cruzan, el pie en fase de balanceo sobrepasa la de apoyo, terminando cuando la tibia oscilante se posiciona de manera vertical.

Fase final de la oscilación (OF): Finalización de la fase de balanceo por el siguiente contacto del pie con el suelo, iniciando un ciclo nuevo (Gómez Hernández et al., 2011).

1.1.1.2 Parámetros Espaciotemporales

La marcha puede determinarse por parámetros básicos y unos de mayor complejidad. Los parámetros espaciotemporales son los más comunes para describir características del patrón de la marcha, puesto que estos pueden verse afectados o influidos

en condiciones específicas (el terreno o forma del suelo, el calzado, edad y/o fatiga) (Collado, 2002; Villa Moreno et al., 2008).

Longitud de paso: Se considera como la distancia en línea de progresión entre 2 puntos de contacto continuos de pies alternados en el suelo. A velocidad espontánea o natural de la marcha en condiciones normales, el apoyo inicial se realiza con el talón, considerando la longitud de paso del talón de un pie y el apoyo del talón del pie contrario (Cámara, 2011).

Tiempo de paso: Periodo de tiempo que pasa durante el contacto inicial de un pie (derecho o izquierdo) con el suelo y el contacto inicial del pie contrario (Cámara, 2011).

Cadencia de pasos: Es el número de pasos que una persona realiza en un tiempo determinado. Comúnmente se mide el número de pasos en un minuto, pero también se mide el número de zancada por minuto, incluso por segundo (Cámara, 2011).

Longitud de zancada: Se considera como la distancia en línea de progresión entre dos contactos iniciales de un mismo pie de manera consecutiva. La longitud de dos pasos constituye la longitud de zancada, puesto que una zancada está compuesta por dos pasos (Cámara, 2011).

Tiempo de zancada: La suma del tiempo transcurrido de las fases de la marcha involucradas en un ciclo, el tiempo de la fase de apoyo más el tiempo de la fase de balanceo de un mismo pie, también comprendido con el intervalo de tiempo entre dos contactos iniciales sucesivos del mismo pie en el suelo (Cámara, 2011).

Tiempo de apoyo: Es comprendido como el tiempo que transcurre mientras el pie está tocando el suelo, la suma del tiempo del apoyo monopodal y los dos apoyos bipodales que se dan durante el un ciclo de marcha (Cámara, 2011).

Tiempo de apoyo bipodal: Duración del periodo en el que los dos pies están en contacto en el suelo al mismo tiempo, también se considera que ambos apoyos bipodales que se presentan en una zancada tienen una misma duración (Cámara, 2011).

Tiempo de apoyo monopodal: Tiempo que transcurre en el momento que solo uno de los pies está haciendo contacto con el suelo. Esta variable espaciotemporal es considerada como una habilidad que posee la persona para mantener su peso en un solo pie (Cámara, 2011).

Tiempo de balanceo: Duración del periodo donde el pie no se encuentra contactando el suelo, coincidiendo con el tiempo de apoyo sencillo del pie contrario (Cámara, 2011).

Velocidad de marcha: Se define como la distancia que recorre un sujeto en un cierto tiempo, midiéndose en $m \cdot s^{-1}$ o en $m \cdot m^{-1}$. Dependiendo esta variable de la longitud de zancada y la duración de esta (Cámara, 2011).

Velocidad de marcha espontánea: Es la velocidad de marcha natural con la que las personas se desplazan, donde el gasto energético es menor en comparación a otras velocidades (Cámara, 2011).

1.1.1.3 Parámetros Cinemáticos

Con los estudios cinemáticos pueden explicarse los movimientos que se realizan durante la marcha con respecto a un sistema de referencia, registrar las variaciones y posiciones de las articulaciones del cuerpo (por ejemplo, cadera, rodilla y tobillo), así como la inclinación, torsión y oscilación de los segmentos, velocidades y aceleraciones (Collado, 2002; Gómez Hernández et al., 2011; Villa Moreno et al., 2008).

1.1.1.4 Parámetros Cinéticos

La cinética en la marcha estudia el movimiento resultante de las fuerzas intrínsecas y extrínsecas durante el gesto de locomoción, así como los momentos y potencias sobre las articulaciones. Teniendo el conociendo de las fuerzas de reacción permite estudiar cómo se comporta de manera vertical el centro de gravedad (CG) durante el apoyo, las fuerzas de frenado y empuje (longitudinal) y la resistencia a la pronosupinación del pie (medio-lateral) (Collado, 2002; Villa Moreno et al., 2008).

1.1.2 Alteraciones de la Marcha en Patologías

Desde el comienzo de la práctica de la medicina, la observación de los movimientos humanos ha sido un procedimiento de análisis para el diagnóstico de enfermedades y patologías (Arellano-González et al., 2019; Cámara, 2011).

1.2 Obesidad

1.2.1 Determinación de la Obesidad

La obesidad y el sobrepeso se definen como una acumulación anormal o excesiva de grasa que puede ser perjudicial para la salud (Moreno, 2012). Una forma simple de medir la obesidad es el índice de masa corporal (IMC), se calcula dividiendo el peso en kilogramos, entre el cuadrado de la talla en metros; la expresión matemática es:

$$IMC = \left(\frac{Peso [kg]}{talla^2 [m]} \right)$$

Una persona con un IMC igual o superior a 30 es considerada obesa y con un IMC igual o superior a 25 es considerada con sobrepeso.

El sobrepeso y la obesidad son factores de riesgo para numerosas enfermedades crónicas, entre las que se incluyen la diabetes, las enfermedades cardiovasculares y el cáncer (OMS).

1.2.2 Clasificación de la Obesidad según la OMS

En la población de talla baja se determina la existencia de obesidad en adultos cuando existe un IMC ≥ 27 para hombres < 1.60 metros y mujeres < 1.50 metros con IMC > 25 (Garca, 2017). Para sobrepeso, un IMC ≥ 25 y < 27 y en población de talla baja ≥ 23 y < 25 , los valores del IMC clasifican a las personas en peso bajo, normales, sobrepeso y obesidad como se observa en la tabla 1 (Barragán, 2005).

Tabla 1. Clasificación Índice de Masa Corporal según la OMS.

CLASIFICACIÓN	IMC	RIESGO
Peso bajo	< 18.5	Bajo
Normal	18.5-24.9	Promedio
Sobrepeso o preobeso	25-29.9	Aumentado
Obesidad Grado I o moderada	30-34.9	Aumentado promedio
Obesidad Grado II o severa	35-39.9	Aumentado severo
Obesidad Grado III o mórbida	≥ 40	Aumentado muy severo

La obesidad puede clasificarse en exógena y secundaria. La exógena es la más frecuente se define por el exceso de grasa corporal por la ingesta calórica excesiva. La secundaria se asocia a alguna enfermedad, bien sea una alteración hormonal o a una enfermedad genética. Desde el punto de vista cuantitativo la obesidad se clasifica en androide y ginecoide, los hombres generalmente acumulan grasa en el abdomen, lo que se

conoce como cuerpo tipo manzana o androide, mientras que ellas acumulan grasa en el abdomen y las caderas, el llamado cuerpo tipo pera o ginecoide (figura 4).



Figura 4. Tipos de Obesidad

Fuente: Adaptado de “Prevalencia de Obesidad en Preescolares en el Municipio de Colima” por Barragán, 2005.

1.2.3 Consecuencias e implicaciones de la Obesidad

De acuerdo con la OMS, una persona con un IMC alto está en un constante riesgo de enfermedades no transmisibles, he de mencionar las enfermedades cardiovasculares por ejemplo las cardiopatías, la diabetes, los trastornos del aparato locomotor principalmente la osteoartritis, así como algunos cánceres, entre ellos cáncer de endometrio, mama, ovarios, próstata, hígado, vesícula biliar, riñones y colon (OMS, 2020).

1.3 Bioimpedancia

1.3.1 Análisis de Composición Corporal por Bioimpedancia

La bioimpedancia eléctrica es una técnica utilizada para medir la composición corporal que tiene un organismo, en función de su capacidad para conducir corriente

eléctrica. La impedancia se define como la dirección opuesta de un conductor al flujo de una corriente alterna, y su valor medio está compuesto por dos vectores que se denominan resistencia y reactancia. Estos parámetros dependen del contenido de agua y de la conducción iónica en el cuerpo. La resistencia (R) se define como la oposición del tejido al pase de la corriente y reactancia (Xc). Es otro efecto negativo sobre la conducción eléctrica y se describe por su comportamiento como condensador de membrana celular, y a su vez depende de la frecuencia de la señal. Nyober y colaboradores en 1943 fueron quienes demostraron que los volúmenes biológicos se pueden relacionar con la impedancia (Z). Matemáticamente se expresa como $Z = (R^2 + Xc^2)^{1/2}$. En comparación con el tejido adiposo, la conductividad eléctrica en el tejido magro es más alta puesto que este tiene una mayor composición de agua y electrólitos del cuerpo. Los componentes como sangre o la orina tienen alta conductividad, los huesos y los músculos intermedia, grasa o aire baja (Rodón Ortega et al., 2014).

1.3.2 Principios de análisis de impedancia bioeléctrico (BIA)

El método de análisis de impedancia humano-bioeléctrica (BIA) se basa en el hecho de que los órganos y tejidos humanos actúan como conductores y no conductores. Generalmente, 50 ~ 70% del cuerpo humano está compuesto de agua que funciona como un conductor y la grasa corporal se utiliza como no conductor. Cuando el método tradicional BIA mide la impedancia de todo el cuerpo, se asume que el cuerpo humano puede considerarse como un cilindro para la aplicación de este modelo como se muestra en la figura 5.

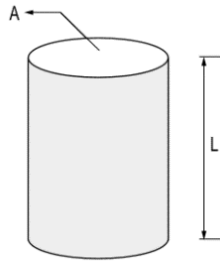


Figura 5. Forma en que el analizador de composición corporal evalúa la impedancia en el cuerpo humano.

Fuente: Adaptado de “Análisis asociación de índice de masa corporal y circunferencias corporales de mujeres en Mexicali, Baja California” por Verdín, 2017.

Si A es el área de sección transversal, y L es la longitud, la impedancia del cilindro se puede expresar como muestra la fórmula:

$$Z = \rho \frac{L}{A} \quad (\rho = \text{resistividad})$$

A = Área de sección transversal

L = Longitud

ρ = Resistividad, el valor de la resistencia única de un tipo particular de material.

Si ambas partes se multiplican por L , obtenemos la nueva expresión de la siguiente manera.

$$V = P \frac{L^2}{Z} \quad (V \text{ (Volumen)} = A \text{ (Área)} \times L \text{ (Longitud)})$$

De acuerdo con esta expresión, si se conoce L y el valor de la impedancia, obtenemos el volumen. Es decir, si se conoce la altura del cuerpo humano (que actúa como

conductor), y conocemos el valor de la impedancia, podemos obtener el volumen de agua corporal. En este caso, el volumen representa altura de la persona examinada. Por lo tanto, las dos variables utilizadas directamente en el análisis de la composición corporal son impedancia y la altura.

El principio de análisis de la composición del cuerpo de InBody es el siguiente: Primero, el valor de impedancia medido se usa para calcular la cantidad de agua en el electrolito en el cuerpo. Por tanto, podemos obtener un valor de masa libre de grasa que aumenta con la cantidad de agua corporal. La masa grasa corporal se determina restando la masa magra del peso corporal medido.

1.3.3 Medición de frecuencia múltiple

El analizador de composición corporal de precisión InBody720 utiliza tecnología multifrecuencia para generar una variedad de frecuencias, incluidas 1 kHz, 5 kHz, 50 kHz, 250 kHz, 500 kHz, 1 MHz. Permite evaluar con precisión el agua intracelular y extracelular, que es la base para obtener con precisión los parámetros restantes. Las altas frecuencias fluyen dentro y fuera de la célula, el uso de una sola frecuencia baja es incapaz de determinar el agua dentro de la célula. Sin embargo, con el método de multifrecuencia, es posible medir con exactitud el agua total corporal. Este método distingue el balance entre agua intracelular y extracelular (figura 6).

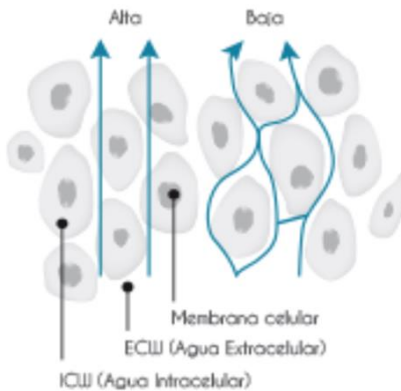


Figura 6. *Medición de frecuencia múltiple, paso de frecuencia a través de la célula.*
Fuente: Adaptado de “Análisis asociación de índice de masa corporal y circunferencias corporales de mujeres en Mexicali, Baja California” por Verdín, 2017.

1.4 Instrumentos de Captura de Movimiento

Para evaluar la cinemática y cinética de la marcha de los sujetos, se utilizaron sistemas de captura de movimiento y plataformas de fuerza.

1.4.1 Sistema VICON®.

El sistema VICON® bonita es una solución flexible, precisa y más asequible que ha redefinido las posibilidades de la captura de movimiento. Está integrado por once cámaras de iluminación infrarroja con una resolución de hasta un megapíxel, distancia focal variable y velocidad de 250 cuadros por segundo (cps), las cuales se encargan de rastrear los marcadores reflectantes pasivos; dos cámaras de video con una frecuencia de 120 Hz y una

resolución de 1280 x 720 HD; y una computadora DELL® para la captura de la información a través del software Nexus 2 (véase figura 7), a través del cual la identificación de los marcadores se realiza en tiempo real (Nexus, 2008) (González et al., 2018).

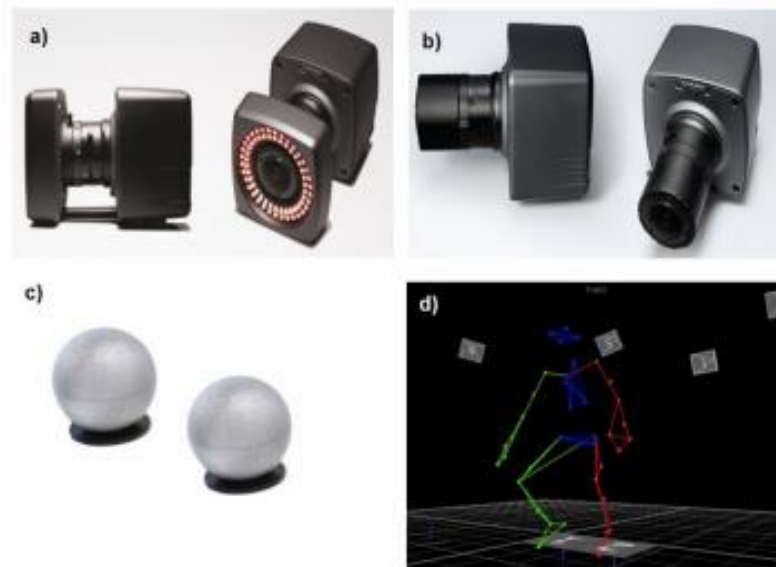


Figura 7. a) Cámara de iluminación infrarroja VICON® bonita, b) Cámara VICON® bonita 720c, c) Marcadores reflectantes pasivos y d) Software Nexus 2.

Fuente: Adaptado de “Biomecánica en la actividad física y deporte: concepto y aplicación” por González-Macías et al.,2018.

1.4.2 Sistema BIOVECT™ de AMTI™

Este sistema está integrado por cuatro plataformas de fuerza, dos del modelo OR6-6 con una capacidad de 2000 lb con una frecuencia de 1000 Hz en Fz y de 550 Hz para Fx y Fy, un amplificador y el software Netforce (Advanced Mechanical Technology, 2000) (véase figura 8); y dos del modelo OR6-7 con una capacidad de la 1000 lb, están especialmente diseñada para la medición precisa de las fuerzas de reacción al suelo. La

plataforma mide los tres componentes ortogonales de la fuerza a lo largo de los ejes X, Y y Z, y los momentos sobre los tres ejes. Los sistemas BIOVECT™ de AMTI™ son sistemas completos de plataformas de fuerza para el análisis de la marcha (González et al., 2018).

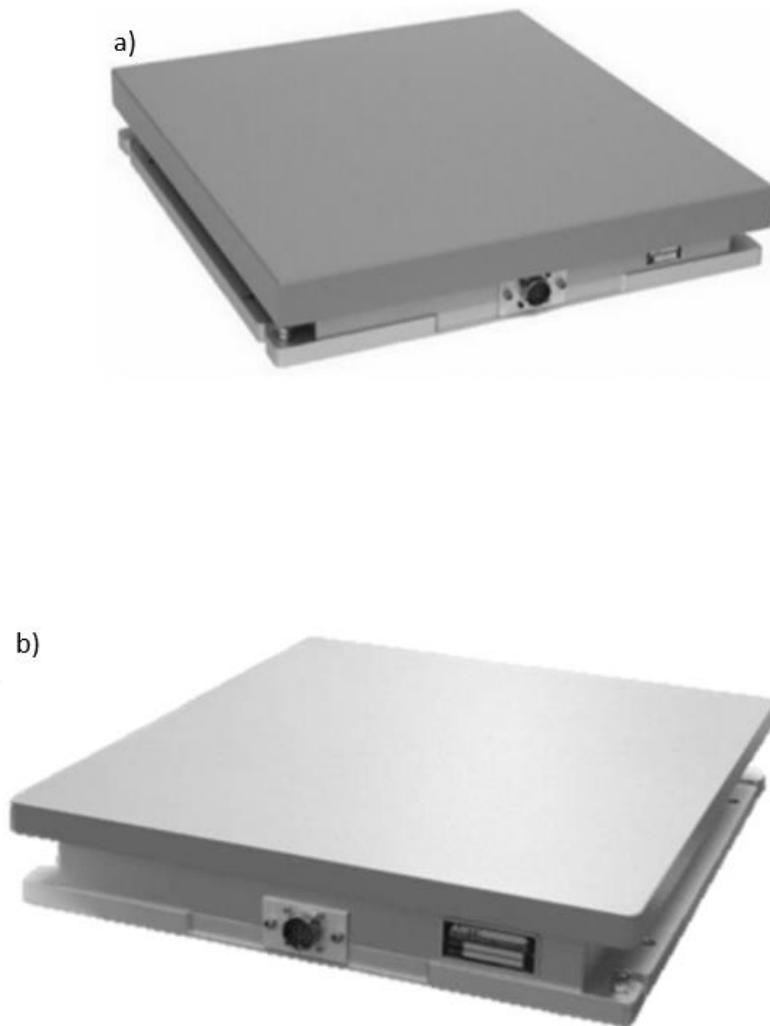


Figura 8. a) Plataforma de fuerza modelo OR6-6 de AMTI™, b) plataforma de fuerza modelo OR6-7 de AMTI™.

Fuente: Adaptado de “Biomecánica en la actividad física y deporte: concepto y aplicación” por González-Macías et al.,2018.

1.5 Adquisición de Datos

1.5.1 Protocolo

Para iniciar con la adquisición de datos es necesario tomar las medidas de ancho, espesor y longitudes del individuo de acuerdo con lo establecido por la guía del producto Plug-in Gait de VICON® (véase tabla 2) (Nexus, 2008). Para ellos, fue necesario la utilización de una cinta métrica flexible y un vernier; la información recolectada se captura en el sistema Nexus 2.

Posteriormente, se hace la colocación de marcadores reflectantes pasivos en el individuo según lo establecido por la guía del producto Plug-in Gait de VICON® (Nexus, 2008). Para esto fue necesario vestir ropa deportiva ajustada y no reflectante.

Para iniciar con el análisis de la marcha humana se calibran las cámaras, se determinan los parámetros de estas de tal forma que se tiene un mapeo del espacio 3D a las coordenadas 2D de las imágenes capturadas, es decir, se define el modelo mecánico del aparato locomotor de los sujetos participantes, quienes permanecieron, sin dificultad alguna, en posición “T” durante unos segundos, y se han registrado las imágenes de los marcadores anatómicos.

Se realizó la captura de los individuos en movimiento, se les pidió que comenzaran a caminar en línea recta y descalzos sobre las plataformas de fuerza a lo largo del Laboratorio de Biomecánica y Ergonomía de la Facultad de Deportes, Campus Mexicali de la Universidad Autónoma de Baja California, a una velocidad confortable para cada sujeto. Se realizaron un total de 3 ensayos por cada sujeto.

A partir de las secuencias de captura, se realiza la detección de marcadores para cada cámara. Esto equivale a determinar la posición 2D de dichos marcadores en cada cámara donde están visibles, a lo largo de toda la secuencia.

Luego, con la posición 2D, de determinado marcador en al menos dos cámaras se realiza la reconstrucción de este, es decir, se obtienen las coordenadas 3D de dicho marcador. Esto se realiza para todos los marcadores, y para todos los cuadros de la secuencia.

Finalmente, se realiza el seguimiento (o tracking) de cada marcador en el espacio. Con esto se obtienen las trayectorias 3D de todos los marcadores en el cuerpo del individuo.

1.5.2 Modelo de marcadores y modelo mecánico

Plug-in Gait es un modelo biomecánico basado en Newington-Helen Hayes modelo de marcha que calcula la cinemática y la cinética de las articulaciones a partir del marcador XYZ y las medidas antropométricas de sujetos específicos.

El modelo Plug-in Gait toma las trayectorias reales de los marcadores y genera trayectorias de marcadores virtuales que representan cantidades cinemáticas y cinéticas (ángulos, momentos, etc.) y representaciones de los segmentos modelados.

El modelo Plug-in Gait define los segmentos rígidos del cuerpo y los ángulos articulares entre estos segmentos, posteriormente aplica masas y momentos de inercia a los segmentos y permite el cálculo de las reacciones que ocurren en estos.

Plug-in Gait para procesar el modelo comprueba que las entradas requeridas (marcadores y medidas del sujeto) estén presentes. Calcula varios valores estáticos que son fijos para el

sujeto y son necesarios para las definiciones de los segmentos. Esto se hace durante la prueba estática; los parámetros estáticos calculados aquí luego se utilizan para modelar durante las pruebas dinámicas. Define los segmentos rígidos fotograma a fotograma. Cada segmento está definido por un origen junto con tres direcciones de eje ortogonal (Vicon Motion Systems, 2017). El modelo mecánico está definido por 39 marcadores anatómicos (figura 9).

El eje Y antero-posterior determina la dirección de la marcha durante los ensayos, el eje X es medio-lateral y el eje Z caudo-craneal (vertical).

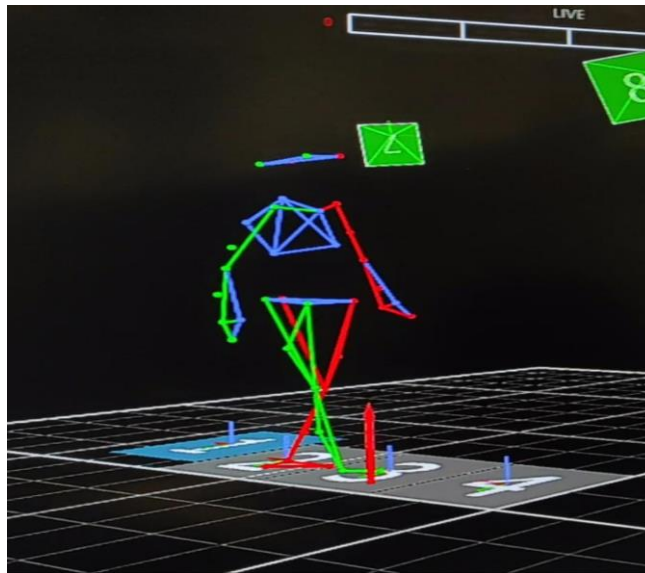


Figura 9. Digitalización de los segmentos

Fuente: Propia.

1.6 Procesamiento de Datos

1.6.1 Medidas del sujeto

A los 20 estudiantes se les tomó medida de espesores y longitudes de cada individuo de acuerdo con lo establecido por la guía del producto Plug-in Gait de VICON® (Nexus, 2008):

Tabla 2. Descripción de los parámetros establecidos por la guía del producto Plug-in Gait de VICON®.

PARAMETROS	DESCRIPCIÓN
Diámetro de codo (izquierdo y derecho).	Ancho a lo largo del eje de flexión, aproximadamente entre el epicóndilo medial y lateral del humero.
Espesor de la mano (izquierda y derecha).	Espesor anterior/posterior entre las superficies palmar y dorsal de la mano.
Desplazamiento del hombro (izquierda y derecha).	Desplazamiento vertical desde la base del acromion al centro de la articulación del hombro.
Diámetro de la muñeca (izquierda y derecha).	Espesor anterior/posterior de la muñeca.
Diámetro del tobillo (izquierdo y derecho).	Distancia medio lateral del maléolo. Con el participante de pie.
Diámetro de la rodilla (izquierda y derecha).	Distancia medio lateral de la rodilla. Con el participante de pie.
Longitud de Pierna (izquierda y derecha).	Distancia entre la espina iliaca anterosuperior y el maléolo interno, a través de la articulación de la rodilla.

1.6.2 Etiquetado de los marcadores

El modelo mecánico está definido por 39 marcadores anatómicos, marcadores reflectantes pasivos que se colocan en lugares específicos del cuerpo, se presenta en la figura 10.

Tabla 3. Descripción de la posición de los marcadores que se colocan en la zona de la cabeza.

MARCADORES DE LA CABEZA		
MARCADOR	DEFINICIÓN	POSICIÓN
LFHD	Left Front Head	Ubicado aproximadamente sobre la sien izquierda.
RFHD	Right Front Head	Ubicado aproximadamente sobre la sien derecha.
LBHD	Left Back Head	Colocado en la parte posterior de la cabeza, aproximadamente en un plano horizontal de los marcadores de la cabeza frontal.
RBHD	Right Back Head	Colocado en la parte posterior de la cabeza, aproximadamente en un plano horizontal de los marcadores de la cabeza frontal.

Tabla 4. Descripción de la posición de los marcadores que se colocan en la zona del torso.

MARCADORES DEL TORSO		
MARCADOR	DEFINICIÓN	POSICIÓN
C7	7th Cervical Vertebrae	Sobre la apófisis espinosa de la séptima vértebra cervical.
T10	10th Thoracic Vertebrae	Sobre la apófisis espinosa de la décima vértebra torácica.
CLAV	Clavicle	En la muesca yugular donde las clavículas se encuentran con el esternón.
STRN	Sternum	Sobre la apófisis xifoides del esternón.
RBAK	Right Back	Colocado en el centro de la escápula derecha.

Tabla 5. Descripción de la posición de los marcadores que se colocan en el brazo izquierdo.

MARCADORES DEL BRAZO IZQUIERDO		
MARCADOR	DEFINICIÓN	POSICIÓN
LSHO	Left Shoulder Marker	En la articulación acromioclavicular.
LUPA	Left Upper Arm Marker	Sobre la parte lateral en el tercio superior del brazo.
LELB	Left Elbow	En el epicóndilo lateral.
LFRA	Left Forearm Arm Marker	Sobre la zona lateral en el tercio inferior del antebrazo.
LWRA	Left Wrist Marker A	A un lado del pulgar en la muñeca izquierda.
LWRB	Left Wrist Marker B	A un lado del meñique sobre la muñeca.
LFIN	Left Fingers	Colocado en el dorso del mano justo debajo de la cabeza del segundo metacarpiano.

Tabla 6. Descripción de la posición de los marcadores que se colocan en el brazo derecho.

MARCADORES DEL BRAZO DERECHO		
MARCADOR	DEFINICIÓN	POSICIÓN
RSHO	Right Shoulder Marker	En la articulación acromioclavicular.
RUPA	Right Upper Arm Marker	Sobre la zona lateral en el tercio inferior del brazo.
RELB	Right Elbow	En el epicóndilo lateral
RFRA	Right Forearm Arm Marker	Sobre la zona lateral en el tercio superior del antebrazo.
RWRA	Right Wrist Marker A	Al lado del pulgar sobre la muñeca.
RWRB	Right Wrist Marker B	Al lado meñique sobre la muñeca.
RFIN	Right Fingers	Colocado en el dorso de la mano, justo debajo de la cabeza del segundo metacarpiano.

Tabla 7. Descripción de la posición de los marcadores que se colocan en la zona de la pelvis.

MARCADORES DE LA PELVIS		
MARCADOR	DEFINICIÓN	POSICIÓN
LASI	Left ASIS	Colocado directamente sobre la espina ilíaca anterosuperior izquierda.
RASI	Right ASIS	Colocado directamente sobre la espina ilíaca anterosuperior derecha.
LPSI	Left PSIS	Colocado directamente sobre la espina ilíaca pósterosuperior izquierda.
RPSI	Right PSIS	Colocado directamente sobre la espina ilíaca pósterosuperior derecha.

Tabla 8. Descripción de la posición de los marcadores que se colocan en la pierna izquierda.

MARCADORES DE LA PIERNA IZQUIERDA		
MARCADOR	DEFINICIÓN	POSICIÓN
LKNE	Left Knee	En el eje de flexión-extensión de la rodilla izquierda.
LTHI	Left Thigh	Sobre la zona lateral en el tercio inferior del muslo.
LANK	Left Ankle	En el maléolo lateral a lo largo de una línea imaginaria que pasa a través del eje transmaleolar.
LTIB	Left Tibial wand marker	Sobre el tercio inferior del vástago izquierdo.

Tabla 9. Descripción de la posición de los marcadores que se colocan en la pierna derecha.

MARCADORES DE LA PIERNA DERECHA		
MARCADOR	DEFINICIÓN	POSICIÓN
RKNE	Right Knee	En el eje de flexión-extensión de la rodilla derecha.
RTHI	Rihgt Thigh	Sobre el tercio superior de la superficie lateral del muslo.
RANK	Right Ankle	En el maléolo lateral a lo largo de una línea imaginaria que pasa a través del eje transmalleolar.
RTIB	Right Tibial wand marker	Sobre el tercio superior de la superficie lateral del vástago.

Tabla 10. Descripción de la posición de los marcadores que se colocan en el pie izquierdo.

MARCADORES DEL PIE IZQUIERDO		
MARCADOR	DEFINICIÓN	POSICIÓN
LTOE	Left Toe	Sobre la cabeza del segundo metatarsiano, en el lado medio del pie de la rotura de equino entre el antepié y el medio pie.
LHEE	Left Heel	En el calcáneo a la misma altura sobre el plantar superficie del pie como marcador del dedo del pie.

Tabla 11. Descripción de la posición de los marcadores que se colocan en el pie derecho.

MARCADORES DEL PIE DERECHO		
MARCADOR	DEFINICIÓN	POSICIÓN
RTOE	Right Toe	Sobre la cabeza del segundo metatarsiano, en el lado medio del pie de la rotura de equino entre el antepié y el medio pie.
RHEE	Right Heel	En el calcáneo a la misma altura sobre el plantar superficie del pie como marcador del dedo del pie.

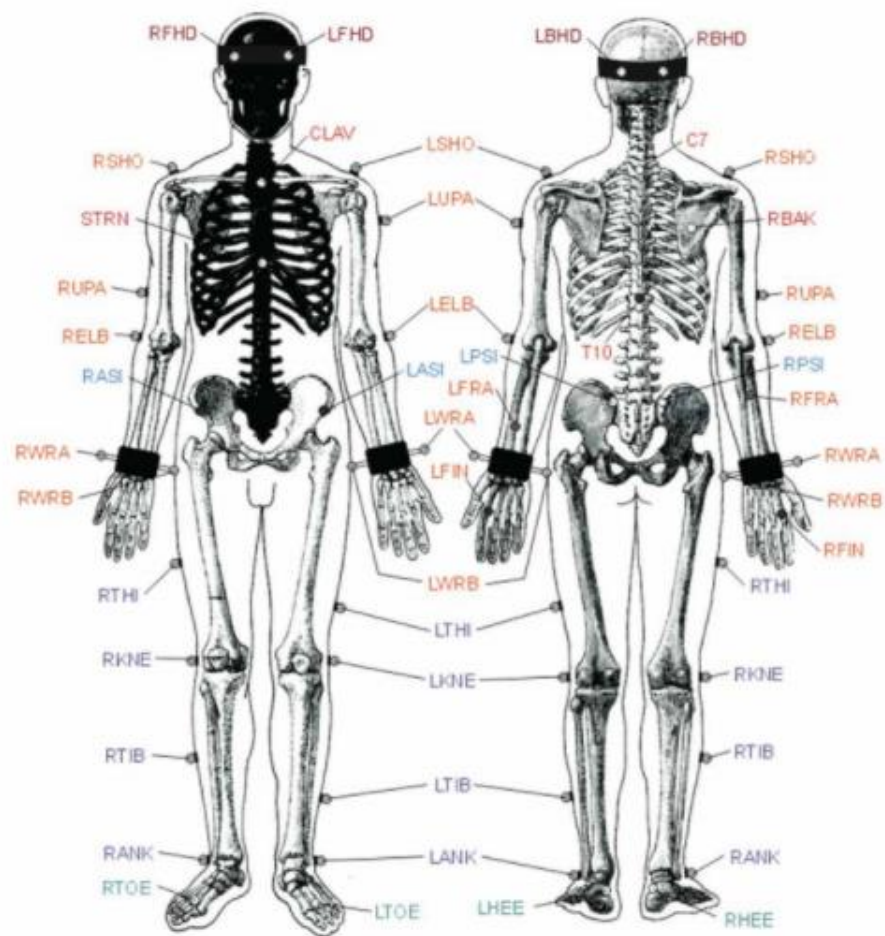


Figura 10. Esquema de la colocación de los marcadores sobre el cuerpo humano.
Fuente: Adaptado de “Plug-in Gait Reference Guide” por Vicon Motion Systems, 2017.

CAPÍTULO II

ANTECEDENTES

2.1 Investigaciones previas

En los últimos 15 años el resultado ha sido variado en las diferentes investigaciones donde la marcha es el tema de investigación teniendo como población personas obesas y personas con normopeso, adjudicando este fenómeno por las características propias de las muestras de cada estudio.

Nantel et al., en el año de 2006 publico su artículo “Locomotor strategies in obese and non-obese children” cuyo propósito fue comparar los parámetros biomecánicos entre niños que presentaran obesidad y niños no obesos durante la marcha a velocidad autoseleccionada. La muestra estudiada fue de 10 niños con obesidad y 10 niños no obesos quienes se encontraban entre los 8 y 13 años. Realizaron un recorrido de 10 m donde se incluían dos placas de fuerza AMTI™ (Advanced Mechanical Technology, Waterton, MA) con muestreo a 960 Hz. A la vez la cinemática se capturó con 8 cámaras optoelectrónicas VICON® (Oxford Metrics Limited, Oxford, Reino Unido) grabando a 60 Hz. Los análisis estadísticos de dicho estudio indicaron que no había una diferencia significativa entre los grupos evaluados para las variables de cadencia, longitud de zancada, la fase de apoyo y la fase de doble apoyo (Nantel et al., 2006).

En 2008 Lai et al. llevaron a cabo una investigación de la marcha, participaron 14 sujetos obesos con una media de edad de 35.4 (8.8) años, 8 mujeres y 6 hombres, también participaron 14 sujetos no obesos con una edad media de 27.6 (8.6) años, 8 mujeres y 6 hombres; con el objetivo de investigar las características de la marcha tridimensional de los adultos chinos obesos y así compararlas con sujetos en normopeso. Fue necesario que los individuos no padecieran enfermedades neurológicas o cardiovasculares, tampoco

anomalías ortopédicas o dolor que afectara a realizar la marcha. Para la recopilación de datos de cinemática y cinética se utilizó un sistema de análisis de movimiento tridimensional VICON® 370 (Oxford Metrics Ltd., Reino Unido) y dos plataformas de fuerza AMTI™ (Advanced Mechanical Technology Inc., Watertown, EE. UU.) al realizar las pruebas, los sujetos caminaban a su propio ritmo por una pasarela de 10 metros. En este estudio a diferencia al trabajo de Nantel et al. si se presentaron diferencias significativas en los parámetros espaciotemporales, la zancada fue más corta en el grupo de los adultos obesos, así como una duración mayor en la fase de apoyo. En relación con los rangos angulares en el plano sagital no mostraron diferencia significativa (Lai et al., 2008).

Jegede et al. realizaron un estudio cuasiexperimental publicado en 2017, la cual consistió en llevar a cabo un programa de entrenamiento de 12 semanas, con la intención de conocer los efectos de los ejercicios de reducción de peso en personas con obesidad. Se evaluaron parámetros espaciotemporales de 30 personas con obesidad y 28 en normopeso. De acuerdo con la primera evaluación en la semana “0”, el grupo de sujetos obesos presentaba de manera significativa una velocidad menor, una longitud de zancada y de paso menor respecto con el grupo de normopeso. Para la semana 12, estas variables presentaron cambios porcentuales significativamente más altos. Para la evaluación de los parámetros espaciotemporales se utilizó el método de la huella, utilizando tinta en los pies de los participantes quienes caminaron a una velocidad autoseleccionada por encima de una pasarela de papel de 10 metros, registrando el tiempo empleado con un cronometro para así obtener la velocidad. Se evaluó de esta manera a cada sujeto al inicio del estudio, así como al final de la semana 4, semana 8 y semana 12 del estudio (Jegede et al., 2017).

Ramírez et al. llevaron a cabo un análisis de la marcha el cual se publicó en el año del 2018, participaron 15 sujetos de los 3 estados nutricionales, es decir, 5 persona (3

hombres y 2 mujeres) en normopeso, 5 (4 hombres y 1 mujer) en sobrepeso y 5 (4 hombres y 1 mujer) en obesidad, con la intención de observar diferencias entre estos. La edad de los participantes oscilaba entre los 18 y 25 años. Para llevar a cabo el estudio se empleó para la captura del movimiento una cámara de video comercial (Sony-HDR- CX250, 60 fps), colocada en el plano sagital del participante a 90 cm del suelo y a 4,5 m de la pasarela del sujeto, obteniendo como resultado del análisis una disminución en los ángulos de las articulaciones de cadera, rodilla y tobillo (Ramirez et al., 2018).

Con el objetivo de analizar la influencia de la obesidad en los parámetros espaciotemporales del ciclo de la marcha en una muestra extensa y buscando la manera más natural, Montes-Alguacil et al. realizó un estudio en el cual participaron 238 escolares sanos con una edad entre 7 y 11 años quienes fueron evaluados a la velocidad habitual del desplazamiento. Tomando en cuenta su IMC, los escolares se dividieron en grupos de “bajo peso” (3 sujetos), “normopeso” (136 sujetos), “sobrepeso” (45) y “obesidad” (54). Los parámetros espaciotemporales se evaluaron por el OptoGait[®] sistema de fotocélula portátil. Teniendo como resultado en las variables espaciales diferencias no significativas entre los niños con peso normal y los que tenían obesidad, por otro lado, las diferencias para la fase de apoyo, si fueron diferentes significativamente. Concluyendo que este resultado significativo necesita un mayor gasto energético por parte de los niños con obesidad, para así tener una marcha estable, pudiendo generar alteraciones biomecánicas (Montes-Alguacil et al., 2019).

En publicaciones más recientes como la investigación de Maktouf et al. en 2020, se estudiaron los efectos de la edad y obesidad de manera combinada sobre la marcha, así como analizar la relación que existe entre la edad y la obesidad en la actividad de los músculos del tobillo al caminar, para esto, se formaron 4 grupos; el grupo control de

jóvenes no obesos ($n=50$, edad = $31,8 \pm 4,5$ años), el grupo de jóvenes obesos ($n=30$, edad = $35,4 \pm 4,1$ años), el grupo de adultos mayores no obesos ($n=20$, edad = $76,1 \pm 3,5$ años) y el grupo de adultos mayores obesos ($n = 20$, edad = $79,6 \pm 5,7$ años). Los participantes caminaron por un corredor de 20 metros, quienes realizaron la acción 3 veces a la velocidad preferida, se tomaron los primeros 5 metros de aceleración, los siguientes 10 metros se utilizaron para medir la velocidad y los últimos 5 metros se consideraron como desaceleración. Posteriormente utilizaron una cinta de andar con instrumentos de análisis de la marcha (Zebris; FDM-T, frecuencia de muestreo: 100 Hz; Zebris medical GmbH, Isny, Alemania) completando 3 pruebas de un 1 minuto, después de cada prueba continuo un periodo de 5 minutos sentados para así descansar. Durante las pruebas se utilizaron dos electrodos de superficie unipodales (Uni-gel Single Electrode-T3425, Thought Technology Ltd., Montreal, Canadá) para obtener la actividad electromiografía de la pierna dominante, especialmente del músculo gastrocnemio medial, el soleo y el tibial anterior. Los resultados obtenidos indicaron que los parámetros espaciotemporales como la longitud y el ancho del paso, la longitud de la zancada, las fases de soporte único (apoyo sencillo) y swing (balanceo) fueron menores en el grupo de jóvenes y adultos obesos, concluyendo que la obesidad ya sea en una población joven o adulta altera la marcha (Maktouf et al., 2020).

En el estudio realizado por Desrochers et al. en el cual participaron 14 sujetos con obesidad y 20 en normopeso en un rango de edad de 35 a 66 años, fue utilizado el sistema GAITite Walkway (CIR System INC., Sparta, Nueva Jersey) para la captura de los datos espaciotemporales, los participantes hicieron un recorrido de 4.88 metros de largo y 0.61 metros de ancho, además se midió la presión de cada pisada a una frecuencia de 130 Hz con una resolución espacial de 1.27 cm. La evaluación se realizó a la velocidad preferente del participante. Además, se le aplicó a cada grupo la Evaluación Funcional de la Marcha

(FGA por sus siglas en inglés, Functional Gait Assessment) y con ella evaluar la locomoción, el equilibrio y la coordinación después de hacer las 10 tareas que la conforman. Los resultados mostraron que los sujetos clasificados como obesos mostraron una longitud de paso significativamente menor, la anchura de paso era mayor, velocidad más lenta, apoyo simple por menos tiempo mientras que el doble apoyo más extenso, así como una cadencia más lenta (Desrochers et al., 2021).

Investigadores afirman que la masa adiposa está relacionada con el aumento de la fuerza de impacto generada al caminar, por el contrario, la masa muscular las absorbe, reduciendo así el riesgo de lesiones o fracturas (Shultz et al., 2009).

El objetivo de este estudio es analizar los efectos generados por la obesidad al momento de ejecutar la marcha. Los resultados obtenidos ayudarán al sustento de futuras investigaciones, además, la información será de utilidad para promover la estructuración de programas de ejercicio que se enfoquen en resolver de manera específica estas afectaciones.

2.2 Planteamiento del problema

Uno de los temas más preocupantes en Baja California es la obesidad. La Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2018 (ENSANUT 2018) informó que el sobrepeso y la obesidad son los problemas nutricionales más comunes en la población escolar, adolescentes y la población adulta del país. En 2016, la población infantil de 5 a 11 años equivale el 34.8%, de los cuales el 20.2% presentaron sobrepeso y el 14.6% obesidad, se presentó un aumento del 0.8% en 2018.

En el 2012 la población de 12 a 19 años, las personas con sobrepeso representaron el 21.6%, las personas obesas el 13.3%, lo que representó el 34.9% del total; y en 2018, las

personas con sobrepeso representaron el 23.8%, un aumento de 2.2%, en obesidad se tiene un aumento del 1.3% (Instituto Nacional de Salud Pública, 2018). Dicha enfermedad va en aumento.

Diversos autores señalan que el exceso de peso puede desarrollar deformidades en miembros inferiores, problemas posturales y modificar la ejecución de diversas tareas; una de ellas es la marcha (Harding et al., 2016; Meng et al., 2017; Shultz et al., 2014; Strutzenberger et al., 2011; Vientos, 2018). Otras investigaciones relacionan el IMC elevado con la falta de equilibrio y un agotamiento crónico, lo que a su vez se vuelve un limitante al momento de querer realizar actividades físicas más exigentes.

CAPÍTULO III

OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Analizar las alteraciones que se presentan en la marcha en un grupo de estudiantes universitarios de la ciudad de Mexicali, Baja California con obesidad.

3.2 Objetivos específicos

- 1.- Seleccionar la muestra para el estudio.
- 2.- Definir un protocolo de medición para realizar las pruebas de evaluación de marcha.
- 3.- Evaluar la composición corporal de la muestra de estudio, utilizando InBody720.
- 4.- Identificar la relación entre parámetros espaciotemporales y cinemáticos de la marcha con la obesidad y peso normal en estudiantes universitarios de Mexicali, Baja California.

CAPÍTULO IV

MATERIAL Y MÉTODOS

4.1 Participantes

4.1.1 Participantes del estudio con obesidad y normopeso.

Se ha analizado la marcha humana a un grupo conformado por 20 sujetos; se reclutaron 10 estudiantes con obesidad (6 hombres y 4 mujeres) con un valor del IMC de 33.41 ± 2.67 (Media \pm DE) clasificado como obesidad, siendo este el principal criterio de inclusión. Los participantes contaban con una edad de 21.8 ± 1.87 . Se consideró como criterio de exclusión a los sujetos que presentaran un IMC clasificado como “Sobrepeso”.

La estatura del sujeto se midió mediante un estadiómetro graduado en centímetros presentando una escala de 0 a 250 cm (SECA). Sin zapatos, espalda recta, vista al frente. El análisis de composición corporal se realizó por medio de la bioimpedancia mediante el aparato InBody 720.

Siguiendo las siguientes recomendaciones:

- Ayuno
- Sin haber realizado actividad física intensa 24 horas antes.
- Orinar antes de las mediciones
- No estar deshidratado
- Ropa lo más ligera posible.
- Sin accesorios metálicos.
- Personas con marcapasos no lo pueden realizar.

Los resultados obtenidos del análisis de composición corporal se presentan en la tabla 12, los resultados de los participantes que obtuvieron un IMC > 30 . A su vez, se

reclutó como grupo control a 10 estudiantes (9 hombre y 1 mujer) con un valor del IMC de 23.03 ± 1.26 , catalogado como normal según la OMS y su edad 21.2 ± 1.39 . Se presenta los resultados en la tabla 13.

Tabla 12. Registro de los participantes con $IMC > 30$.

SUJETO	GENERO	EDAD (años)	PESO (Kg)	ALTURA	IMC	GRASA CORPORAL (%)	RELACIÓN CINTURA-CADERA	AREA DE GRASA VISERAL
Sujeto 1	M	23	117.1	183	35	32.9	1.03	159.5
Sujeto 2	M	20	85.2	168.1	30.2	29.7	0.93	101.7
Sujeto 3	F	21	68.4	149.9	30.4	43.7	0.9	101.2
Sujeto 4	M	23	104.6	180	32.3	25.4	0.99	119.9
Sujeto 5	M	20	94.8	172.9	31.7	32.1	1.01	125.5
Sujeto 6	M	20	104.8	174.4	34.5	37	1.14	168.1
Sujeto 7	F	20	93.9	156.9	38.1	46.7	0.97	142.4
Sujeto 8	M	25	98.2	162.9	37	40.2	1.08	159.2
Sujeto 9	F	24	77.3	155.4	32	41.1	0.9	106.8
Sujeto 10	F	22	83.6	159.4	32.9	45.9	1.12	155.7

Tabla 13. Registro de los participantes con normopeso.

SUJETO	GENERO	EDAD (años)	PESO (Kg)	ALTURA	IMC	GRASA CORPORAL (%)	RELACIÓN CINTURA-CADERA	AREA DE GRASA VISERAL
Sujeto 1	M	21	60.7	165.4	22.2	13.7	0.8	24.4
Sujeto 2	M	24	66.7	167.5	23.8	17.3	0.92	43.6
Sujeto 3	M	23	58.9	163.4	22.1	15.1	0.78	28.3
Sujeto 4	M	21	52.3	156.4	21.4	13.7	0.78	19.6
Sujeto 5	M	20	63	160.1	24.6	18	0.82	39.5
Sujeto 6	M	20	78.6	179	24.5	23.6	0.91	77.4
Sujeto 7	F	22	60.6	166.1	22	29.9	0.88	74.1
Sujeto 8	M	21	79.6	179	24.8	18.2	0.95	63.6
Sujeto 9	M	20	64.8	169	22.7	21.3	0.84	55.7
Sujeto 10	M	20	64.2	170	22.2	15.5	0.78	33.5

En la tabla 14 y 15 se presentan las dimensiones antropométricas de ambos grupos, que se requieren para realizar las valoraciones biomecánicas, con el sistema Nexus.

Tabla 14. Registro de las dimensiones antropométricas de los sujetos con IMC >30.

PARAMETRO	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
Long. de pierna izq.	102.7	92.2	78	97	91.1	85	88.5	83	91	87.6
Long de pierna dcha.	102.2	91.7	78.1	97.1	91.7	89	87.8	84.3	90.7	87.5
Diámetro de rodilla izq.	12.1	10.6	10.7	12	10.6	10.8	11.3	9.9	11.2	10.1
Diámetro de rodilla dcha.	12.3	10.4	10.5	12.1	10.5	10.8	11.2	9.9	11.1	10.1
Diámetro de tobillo izq.	7.7	7	6.1	8.4	6.6	7.5	6.5	7.5	6.8	6.4
Diámetro de tobillo dcho.	7.6	7	6.1	8.3	6.6	7.5	6.6	7.6	6.7	6.4
Desplazamiento de hombro izq.	8.5	4.3	7	6.3	4.8	3.6	4.2	3.8	6	7.5
Desplazamiento de hombro dcho.	8.3	4.2	7	6.5	4.7	3.6	4.2	4	6.1	7.3
Diámetro de codo izq.	8	6.8	6.3	8.2	6.8	7.5	6.5	6.8	6.9	6.6
Diámetro de codo dcho..	8	6.9	6.3	8.3	6.9	7.6	6.6	6.9	7	6.7
Diámetro de muñeca izq.	6.6	5.1	5.4	6.4	5.4	5.8	5.3	5.5	5.5	5.5
Diámetro de muñeca dcha.	6.4	5.5	5.4	6.5	5.5	5.6	5.4	5.9	5.4	5.5
Espesor de mano izq.	3.5	2.7	2.4	3.5	2.7	2.9	2.5	2.5	2.6	2.8
Espesor de mano dcha.	3.4	3.1	2.5	3.5	2.7	2.9	2.4	2.6	2.5	2.9

Tabla 15. Registro de las dimensiones antropométricas de los sujetos con normopeso.

PARAMETRO	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
Long. de pierna izq.	88.5	90	81.6	82.7	84.3	95	89.6	98.1	86.4	91
Long de pierna dcha.	88.3	90	81.4	83.5	84	95	90.8	98.5	84.7	91
Diámetro de rodilla izq.	9.7	10.1	9.6	9.3	9.8	10.5	9.2	10.5	10.1	9.7
Diámetro de rodilla dcha.	9.8	10.2	9.7	9.3	9.8	10.7	9.2	10.5	10.2	9.7
Diámetro de tobillo izq.	7.6	6.7	7	6.6	7.1	8.3	6.5	7	7.7	6.7
Diámetro de tobillo dcho.	7.2	6.6	6.8	6.4	6.8	8.2	6.3	7.1	7.8	6.9
Desplazamiento de hombro izq.	5.5	5.5	4.2	4.5	4.3	5.2	4.2	6	4	6.5
Desplazamiento de hombro dcho.	5.3	5.6	4	4.7	4.3	5.1	4.1	5.6	4.6	6.6
Diámetro de codo izq.	6.7	7.6	6.7	6.2	6.6	7.2	6.7	7.3	6.7	6.5
Diámetro de codo dcho.	6.6	7.5	6.7	6.3	6.7	7.3	6.7	7.2	7	6.3
Diámetro de muñeca izq.	5.6	5.6	5.5	5.1	5.6	5.7	5.2	6	5.3	6
Diámetro de muñeca dcha.	5.8	5.7	5.3	5.1	5.6	5.8	5.1	6	5.4	6.2
Espesor de mano izq.	2.7	2.7	2.3	2.9	2.8	2.8	2.5	3	2.8	2.7
Espesor de mano dcha.	2.7	2.7	2.4	2.8	2.6	2.9	2.7	3	2.6	2.8

4.2 Análisis biomecánico de la marcha humana a participantes con obesidad y normopeso.

Se ha analizado la marcha humana de estudiantes universitarios que presentaron obesidad y normopeso. Los ensayos se han realizado utilizando el sistema de captura de movimiento VICON® con 11 cámaras infrarrojas Bonita 10b y 2 cámaras de video Bonita 720c de alta velocidad, con una frecuencia de muestreo de 100 Hz. El volumen del espacio, en función de la ubicación de las cámaras y plataformas de fuerzas, ha sido 6 x 4 m. Una vez definido el punto de origen, se define el modelo (Plug Gain) utilizando 39 marcadores reflectantes asociados a referencias anatómicas. Para el registro de las fuerzas de reacción del suelo se han utilizado cuatro plataformas de fuerzas AMTI™, dos modelos OR6-6 2000 y 2 modelo OR6-7 1000. Con una frecuencia de muestreo de 1000 Hz. Todos los equipos han sido sincronizados y analizados a través del software de Nexus 2.0. Los datos han sido filtrados con el filtro Butterworth.

El análisis biomecánico se realizó, utilizando la herramienta de Microsoft la paquetería de Excel 2013, con la cual se analizaron las siguientes variables: longitud de zancada, longitud de paso, velocidad del centro de masa, cadencia, ángulo de rodilla, ángulo de cadera, ángulo de tobillo, tiempo de apoyo sencillo y tiempo de apoyo doble.

4.3 Análisis estadístico

Se calculó la estadística descriptiva para todas las variables. Se presentan las medias, desviaciones típicas (DE), máximo y mínimo. Se realizó la prueba de normalidad, aplicando la prueba de Shapiro-Wilk. La homogeneidad de varianzas se comprobó con el Test de Leve. Las diferencias en las variables de los dos grupos se compararon mediante la prueba T de Student para dos muestras independientes. También se llevaron a cabo las correlaciones con el método paramétrico Pearson. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el software IBM SPSS versión 23.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, EE. UU) y los valores $p < 0.05$ se consideraron estadísticamente significativos.

CAPÍTULO V

RESULTADOS

5.1 Resultados

En este estudio se analizaron a veinte estudiantes universitarios de la Facultad de Deportes, campus Mexicali, se clasificaron en dos grupos, diez participantes en el grupo normopeso y diez en el grupo con obesidad.

Se presentan los resultados obtenidos en el análisis biomecánico de los ángulos de cadera, rodilla y tobillo durante el ciclo de la marcha de dos participantes, uno con normopeso y otro con obesidad en las figuras 11, 12, 13, 14, 15 y 16. En la tabla 16 se presentan los resultados obtenidos en los ángulos de cadera derecha del grupo con normopeso, en la tabla 17 se observan los resultados obtenidos de la misma variable del grupo con obesidad.

En el apartado Anexos se presentan el resto de los resultados obtenidos del análisis biomecánico de las variables longitud de zancada de ambas piernas, longitud de paso, cadencia, velocidad del centro de masa, los ángulos de cadera, rodilla y tobillo, tiempo de apoyo sencillo y tiempo de apoyo doble, durante el ciclo de la marcha de los dos estados nutricionales normal y obesidad.

Tabla 16. *Ángulos obtenidos de la cadera derecha durante 3 ciclos de la marcha del grupo en normopeso.*

ÁNGULOS DE CADERA DERECHA		
SUJETO	MÁX. FLEXIÓN	MÁX. EXTENSIÓN
SUJETO 1	33.77	-8.04
SUJETO 2	24.93	-19.11
SUJETO 3	22.26	-19.61
SUJETO 4	26.40	-24.19
SUJETO 5	42.17	-5.20
SUJETO 6	24.01	-16.81
SUJETO 7	34.46	-11.15
SUJETO 8	27.23	-11.20
SUJETO 9	34.84	-6.55
SUJETO 10	33.52	-7.30

Tabla 17. *Ángulos proyectados de la cadera durante 3 ciclos de marcha del grupo IMC >30.*

ÁNGULOS DE CADERA DERECHA		
SUJETO	MÁX. FLEXIÓN	MÁX. EXTENSIÓN
SUJETO 1	19.06	-25.53
SUJETO 2	38.80	-3.13
SUJETO 3	39.72	-3.15
SUJETO 4	36.00	-10.87
SUJETO 5	25.28	-13.98
SUJETO 6	19.26	-22.55
SUJETO 7	30.11	-12.12
SUJETO 8	37.45	-7.21
SUJETO 9	40.07	-4.46
SUJETO 10	39.38	-3.71

Se presentan las gráficas del ángulo de cadera, rodilla y tobillo, durante el ciclo de la marcha en los dos estados nutricionales normal y obesidad.

En la figura 11 y 12 se presenta el comportamiento de la cadera durante 3 ciclos de la marcha de un sujeto con obesidad (sujeto 7) y otro en normopeso (sujeto 7); los máximos (ángulos °) representan la flexión dada en el inicio de la fase de apoyo y el fin de la fase de balanceo de cada ciclo, de manera contraria los mínimos (ángulos °) representan la extensión de la cadera finalizando la fase de apoyo.

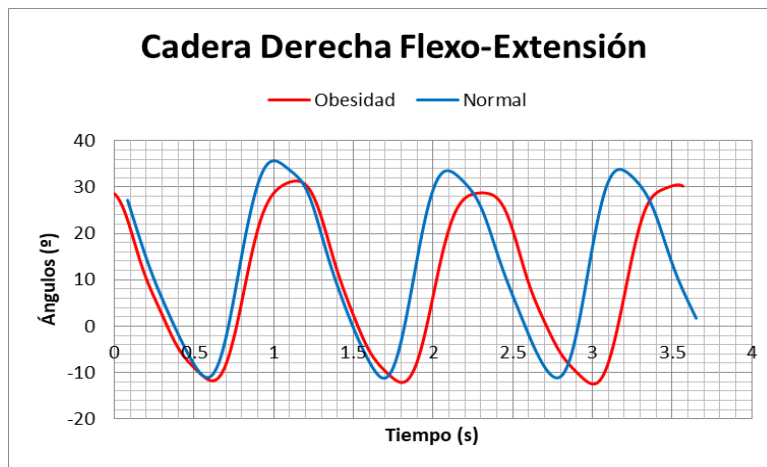


Figura 11. Gráfica del comportamiento flexo-extensión (plano sagital) de cadera dcha. durante la marcha.

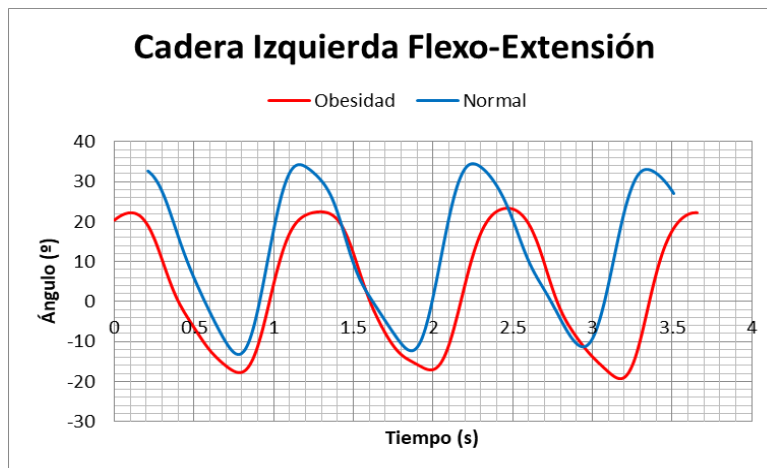


Figura 12. Gráfica del comportamiento flexo-extensión (plano sagital) de cadera izq. durante la marcha.

En la figura 13 y 14, muestra el comportamiento del ángulo de la rodilla de un sujeto con obesidad (sujeto 7) y otra con normopeso (sujeto 7). Los valores positivos considerados flexiones y los valores negativos extensiones de la articulación.

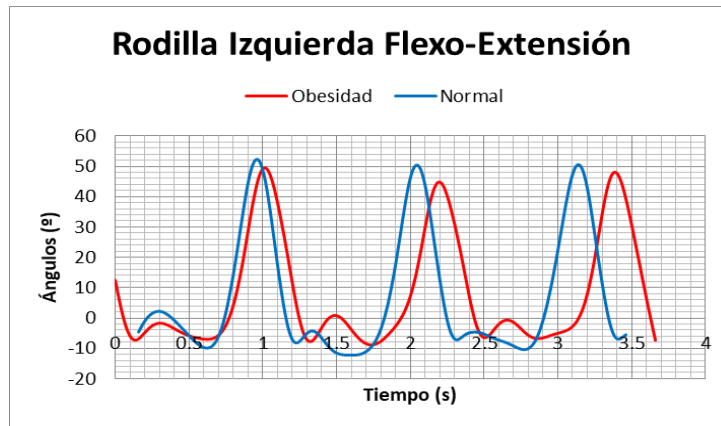


Figura 13. Gráfica del comportamiento flexo-extensión (plano sagital) de la rodilla izq. durante la marcha.

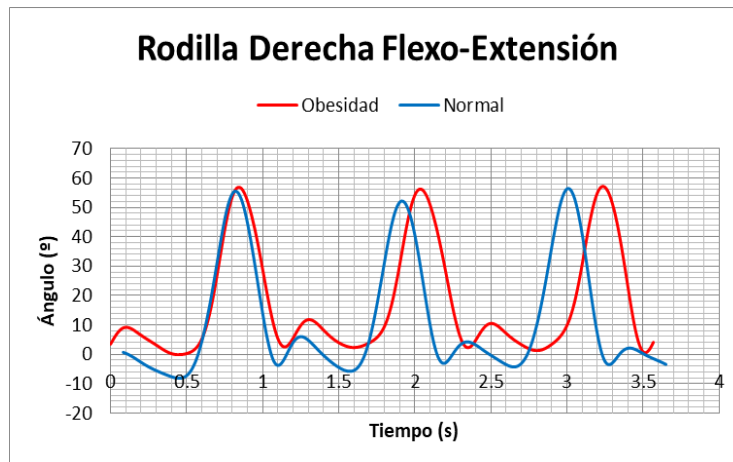


Figura 14. Gráfica del comportamiento flexo-extensión (plano sagital) de la rodilla dcha. durante la marcha.

En la figura 15 y 16 se muestran tres ciclos de marcha de una persona con obesidad (sujeto 7) y otra con normopeso (sujeto 7), considerando los valores positivos como dorsiflexión y los valores negativos como plantiflexión tanto en fase de apoyo como en el de balanceo.

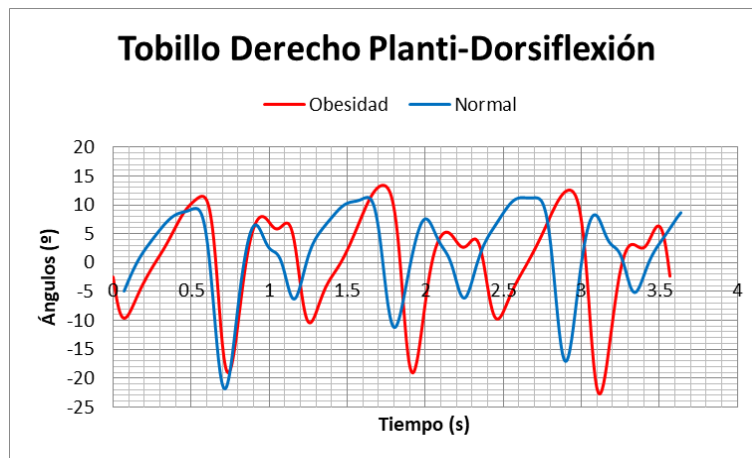


Figura 15. Gráfica del comportamiento flexo-extensión (planti-dorsiflexión) del tobillo dcho. durante la marcha (plano sagital).

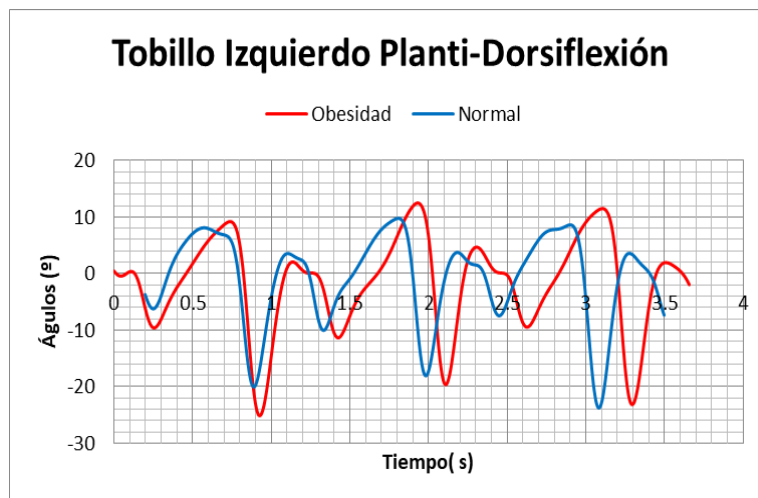


Figura 16 .Gráfica del comportamiento flexo- extensión (planti-dorsiflexión) del tobillo izq. durante la marcha (plano sagital).

Se presenta la estadística descriptiva de las treinta y cuatro variables analizadas del grupo en normopeso en la tabla 18 y en la tabla 19 la del grupo con obesidad.

Tabla 18. Estadística descriptiva de las variables analizadas de los estudiantes con normopeso.

VARIABLES	MEDIA	DE	MIN	MAX
Peso (Kg)	64.94	8.44	52.30	79.60
Altura (cm)	167.59	7.25	156.40	179
IMC	23.03	1.26	21.40	24.80
Grasa Corporal	18.63	5.07	13.70	29.90
Grasa Visceral	45.87	20.71	19.60	77.40
Masa Músculo Esquelético	29.86	4.09	23.20	37.50
Edad	21.20	1.39	20	24
Longitud de Zancada Derecha (m)	1.30	.054	1.20	1.38
Longitud de Zancada Izq. (m)	1.30	.057	1.20	1.39
Longitud de Paso	651.41	27.39	604.25	694.51
Cadencia de pasos	111.43	8.65	95.60	122.62
Velocidad (m/s)	1.21	.107	1.01	1.38
Ángulo de Cadera Ext. Derecha	-12.91	6.55	-24.19	-5.20
Ángulo de Cadera Ext Izquierda	-14.39	6.45	-25.63	-6.84
Ángulo de Cadera Flex. Derecha	30.35	6.31	22.26	42.17
Ángulo de Cadera Flex Izquierda	29.47	6.17	21.31	39.65
Ángulo de Rodilla Apoyo Ext. Derecha	1.63	3.70	-6.00	7.46
Ángulo de Rodilla Apoyo Flex. Derecha	13.65	5.22	4.18	21.01
Ángulo de Rodilla Apoyo Ext. Izquierda	-3.58	6.10	-15.25	3.95
Ángulo de Rodilla Apoyo Flex. Izquierda	9.15	10.18	-13.26	19.15

Ángulo de Rodilla Balanceo Ext. Derecha	-3.920	4.52	-6.60	8.92
Ángulo de Rodilla Balanceo Flex. Derecha	61.08	5.48	51.63	68.49
Ángulo de Rodilla Balanceo Ext. Izquierda	-4.35	5.50	-13.89	4.78
Ángulo de Rodilla Balanceo Flex. Izquierda	57.43	4.41	50.96	65.73
Ángulo de Tobillo Apoyo Ext. Derecho	-4.87	5.04	-13.58	6.39
Ángulo de Tobillo Apoyo Flex. Derecho	12.13	4.01	4.03	17.40
Ángulo de Tobillo Balanceo Ext. Derecho	-13.57	5.68	-23.68	-5.33
Ángulo de Tobillo Balanceo Flex. Derecho	5.18	4.20	-3.95	12.06
Ángulo de Tobillo Apoyo Ext. Izquierdo	-6.87	1.96	-9.83	-3.87
Ángulo de Tobillo Apoyo Flex. Izquierdo	12.29	4.21	5.26	20.29
Ángulo de Tobillo Balanceo Ext. Izquierdo	-9.99	10.11	-21.87	11.49
Ángulo de Tobillo Balanceo Flex. Izquierdo	5.45	4.82	-2.72	13.84
Tiempo de apoyo sencillo	.665	.059	.60	.77
Tiempo de apoyo doble	.109	.020	.08	.15

Nota: Kg = Kilogramos, cm = centímetros, IMC = Índice de masa corporal, m = metros, Ext= Extensión, Flex = Flexión, IC= Intervalo de confianza, DE = Desviación Estándar, Min = Mínimo, Max = Máximo.

Tabla 19. Estadística descriptiva de las variables analizadas de los estudiantes con obesidad.

VARIABLES	MEDIA	DE	MIN	MAX
Peso (kg)	92.79	14.47	68.40	117.10
Altura (cm)	166.29	11.12	149.90	183
IMC	33.41	2.67	30.2	38.1
Grasa Corporal	37.47	7.23	25.40	46.7
Grasa Visceral	134	26.07	101.2	168.10

Masa Músculo Esquelético	33.26	8.27	21.20	45.20
Edad	21.80	1.87	20	25
Longitud de Zancada Derecha (m)	1.29	.070	1.20	1.43
Longitud de Zancada Izq. (m)	1.30	.081	1.19	1.43
Longitud de Paso	647.12	34.77	598.18	705.90
Cadencia de pasos	110.18	6.11	99.91	117.61
Velocidad (m/s)	1.19	.098	1	1.38
Ángulo de Cadera Ext. Derecha	-10.73	8.11	-25.53	-3.13
Ángulo Cadera Ext Izquierda	-12.49	8.50	-25.62	1.20
Ángulo de Cadera Flex. Derecha	32.40	8.37	19.06	39.85
Ángulo Cadera Flex Izquierda	31.91	10.09	17.37	43.65
Ángulo de Rodilla Apoyo Ext. Derecha	1.59	4.71	-3.40	12.42
Ángulo de Rodilla Apoyo Flex. Derecha	11.11	5.08	2.76	20.05
Ángulo de Rodilla Apoyo Ext. Izquierda	-1.96	5.14	-8.91	7.37
Ángulo de Rodilla Apoyo Flex. Izquierda	8.63	7.88	-.52	22.07
Ángulo de Rodilla Balanceo Ext. Derecha	-.71	3.00	-6.32	4.53
Ángulo de Rodilla Balanceo Flex. Derecha	61.45	7.21	51.46	73.47
Ángulo de Rodilla Balanceo Ext. Izquierda	-2.92	6.08	-10.91	7.12
Ángulo de Rodilla Balanceo Flex. Izquierda	58.93	8.47	46.84	69.77
Ángulo de Tobillo Apoyo Ext. Derecho	-7.27	5.06	-14.33	.44
Ángulo de Tobillo Apoyo Flex. Derecho	11.97	3.91	6.68	18.89
Ángulo de Tobillo Balanceo Ext. Derecho	-20.99	6.66	-33.84	-12.74
Ángulo de Tobillo Balanceo Flex. Derecho	4.51	5.34	-4.36	12.07
Ángulo de Tobillo Apoyo Ext. Izquierdo	-8.27	6.70	-18.09	2.57

Ángulo de Tobillo Apoyo Flex. Izquierdo	9.76	5.99	-2.72	19
Ángulo de Tobillo Balanceo Ext. Izquierdo	-21.25	6.55	34.25	-11.67
Ángulo de Tobillo Balanceo Flex. Izquierdo	2.53	6.64	-10.04	11.94
Tiempo de apoyo sencillo	.671	.044	.62	.75
Tiempo de apoyo doble	.126	.020	.10	.14

Nota: Kg = Kilogramos, cm = centímetros, IMC = Índice de masa corporal, m = metros, Ext= Extensión, Flex = Flexión, IC= Intervalo de confianza, DE = Desviación Estándar, Min = Mínimo, Max = Máximo.

En la tabla 20 se muestran los resultados obtenidos, de la prueba de normalidad Shapiro-Wilk indica que todas las variables de ambos grupos presentan una distribución normal ($p > 0.05$).

Tabla 20. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk de las variables analizadas.

VARIABLES	CLASIFICACIÓN	SHAPIRO-WILK
Peso	OBESIDAD	.989
	NORMAL	.205
Altura	OBESIDAD	.781
	NORMAL	.540
IMC	OBESIDAD	.459
	NORMAL	.093
Grasa Corporal	OBESIDAD	.671
	NORMAL	.111
Grasa Visceral	OBESIDAD	.159
	NORMAL	.463
Masa Músculo Esquelético	OBESIDAD	.586
	NORMAL	.969
Edad	OBESIDAD	.094
	NORMAL	.038
Longitud de Zancada Derecha (m)	OBESIDAD	.459
	NORMAL	.623
Longitud de Zancada Izq. (m)	OBESIDAD	.338
	NORMAL	.837
Longitud de Paso	OBESIDAD	.359
	NORMAL	.732
Cadencia de pasos	OBESIDAD	.431
	NORMAL	.430
Velocidad (m/s)	OBESIDAD	.669
	NORMAL	.991

Ángulo de Cadera Ext. Derecha	OBESIDAD	.080
	NORMAL	.307
Ángulo de Cadera Ext Izquierda	OBESIDAD	.919
	NORMAL	.436
Ángulo de Cadera Flex. Derecha	OBESIDAD	.057
	NORMAL	.370
Ángulo de Cadera Flex Izquierda	OBESIDAD	.175
	NORMAL	.405
Ángulo de Rodilla Apoyo Ext. Derecha	OBESIDAD	.130
	NORMAL	.813
Ángulo de Rodilla Apoyo Flex. Derecha	OBESIDAD	.413
	NORMAL	.834
Ángulo de Rodilla Apoyo Ext. Izquierda	OBESIDAD	.407
	NORMAL	.649
Ángulo de Rodilla Apoyo Flex. Izquierda	OBESIDAD	.332
	NORMAL	.099
Ángulo de Rodilla Balanceo Ext. Derecha	OBESIDAD	.960
	NORMAL	.689
Ángulo de Rodilla Balanceo Flex. Derecha	OBESIDAD	.723
	NORMAL	.832
Ángulo de Rodilla Balanceo Ext. Izquierda	OBESIDAD	.449
	NORMAL	.557
Ángulo de Rodilla Balanceo Flex. Izquierda	OBESIDAD	.265
	NORMAL	.956
Ángulo de Tobillo Apoyo Ext. Derecho	OBESIDAD	.746
	NORMAL	.143
Ángulo de Tobillo Apoyo Flex. Derecho	OBESIDAD	.775
	NORMAL	.578
Ángulo de Tobillo Balanceo Ext. Derecho	OBESIDAD	.609
	NORMAL	.480
Ángulo de Tobillo Balanceo Flex. Derecho	OBESIDAD	.769
	NORMAL	.364
Ángulo de Tobillo Apoyo Ext. Izquierdo	OBESIDAD	.659
	NORMAL	.796
Ángulo de Tobillo Apoyo Flex. Izquierdo	OBESIDAD	.657
	NORMAL	.896
Ángulo de Tobillo Balanceo Ext. Izquierdo	OBESIDAD	.595
	NORMAL	.406
Ángulo de Tobillo Balanceo Flex. Izquierdo	OBESIDAD	.769
	NORMAL	.953
Tiempo de apoyo sencillo	OBESIDAD	.141
	NORMAL	.129
Tiempo de apoyo doble	OBESIDAD	.083
	NORMAL	.679

Se determinó la comparación de medias de la prueba T de Student para muestras independientes, las variables que obtuvieron una diferencia significativa entre el grupo con obesidad y normopeso, se presentan en la tabla 21.

Tabla 21. Comparación de medias entre el grupo con obesidad y el normopeso, media aritmética e intervalo de confianza del 95%.

VARIABLES	CLASIFICACIÓN	Media	Intervalo de confianza a 95%
Peso	OBESIDAD	92.79	(83.19-101.59)
	NORMAL	64.94	(60.11, 70.58)
IMC	OBESIDAD	33.41	(31.86, 35.03)
	NORMAL	23.03	(22.26, 23.82)
Grasa Corporal	OBESIDAD	37.47	(33.29, 41.67)
	NORMAL	18.63	(15.69, 22.12)
Grasa Visceral	OBESIDAD	134	(117.16, 149.47)
	NORMAL	45.97	(33.61, 59.32)
Ángulo de Tobillo Balanceo Ext. Derecho	OBESIDAD	-20.99	(-25.29,-17.06)
	NORMAL	-13.57	(-16.86, -10.21)
Ángulo de Tobillo Balanceo Ext. Izquierdo	OBESIDAD	-21.25	(-25.63, -17.68)
	NORMAL	-9.99	(-15.80 , -2.96)

Los participantes con normopeso, presentan un ángulo de tobillo balanceo extensión izquierdo, significativamente mayor (-9.99 ± 10.11) que los participantes con obesidad (-21.25 ± 6.55 , $t(18) = -2.953$, $p < 0.05$, $r = 0.57$). De igual forma el grupo con normopeso, presentó en el ángulo de tobillo balanceo extensión derecho, con una diferencia significativamente mayor (-13.57 ± 5.68) con respecto al grupo con obesidad (-20.99 ± 6.66 , $t(18) = -2.677$, $p < 0.05$).

En la tabla 22 se presentan las correlaciones de Pearson, en donde se aprecian las correlaciones que existen en las variables. La variable IMC presenta una correlación alta positiva con las variables grasa corporal (.851**), grasa visceral (.940**), así como una correlación negativa con las variables ángulo de tobillo balanceo izquierdo extensión (-

.456*) y ángulo de tobillo balanceo derecho extensión (-.562*). La variable grasa corporal presenta una correlación con la variable IMC, grasa visceral (.864**), ángulo de rodilla apoyo derecha flexión (-.475*), ángulo de tobillo balanceo izquierdo extensión (-.512*) y ángulo de tobillo balanceo derecho extensión (-.541*). De igual forma la variable grasa visceral con la variable IMC (.940**), grasa corporal (.864**), ángulo de tobillo balanceo izquierdo extensión (-.465*) y ángulo de tobillo balanceo derecho extensión (-.647**).

La variable ángulo de rodilla balanceo izquierda flexión, esta correlacionada con las variables ángulo de rodilla balanceo izquierda extensión (.447*), ángulo de rodilla apoyo izquierda flexión (.495*), ángulo de rodilla apoyo izquierda extensión (.589**), ángulo de rodilla balanceo derecho flexión (.815**), velocidad (.444*), ángulo de cadera izquierda flexión (.570**) y ángulo de tobillo apoyo izquierdo extensión (.466*).

La cadencia de paso se encuentra con una correlación estadísticamente significativa con la variable velocidad (.819**), lo que nos indica que si la variable cadencia de paso aumenta la variable velocidad también. De igual forma se encuentra correlacionada con la variable ángulo de cadera izquierdo flexión (.444*), tiempo de apoyo sencillo (-.880**) y tiempo de apoyo doble (-.560*).

Mientras que la variable velocidad presenta una correlación significativa con las variables ángulo de rodilla balanceo izquierda flexión (.444*), cadencia de pasos (.819**), longitud de zancada izquierda (.681**), longitud zancada derecha (.691**), longitud de pasos (.705**), tiempo de apoyo sencillo (-.682**) y tiempo de apoyo doble (-.532*).

Los resultados obtenidos muestran que las variables que se ven afectadas por la obesidad, son las variables ángulo de tobillo balanceo izquierdo extensión y ángulo de tobillo balanceo derecho extensión.

Tabla 22. Correlación de Pearson de todas las variables evaluadas.

	Altura	IMC	Grasa Corporal	Grasa Visceral	Masa de Músculo Esquelético	Cadencia de Paso	Longitud Paso	Long. De Zac. Izq.	Long. De Zac. Dcha.	Velocidad	Ángulo Rodilla Flex. Bal. Izq.
Peso	.502*	.859**	.570**	.885**	.746**						
Altura					.868**	-.453*		.623**	.696**		
IMC			.851**	.940**							
Grasa Corporal				.864**							
Grasa Visceral											
Masa de Músculo Esquelético									.535*		
Cadencia de Paso								-.516*	-.527*	.819**	
Longitud Paso								-.582**	-.513*	.705**	
Longitud de Zac. Izq.									.981**	-.720**	-.485*
Longitud de Zac. Dcha.										-.694**	
Velocidad											.444*

Nota: Bal= Fase de balanceo, Cad= cadera, Zanc= zancada.

VARIABLES	Ángulo Rodilla Bal. Ext. Izq.	Ángulo Rodilla Apoyo Flex. Izq.	Ángulo Rodilla Apoyo Ext. Izq.	Ángulo Rodilla Bal. Flex. Dcha.	Ángulo Rodilla Bal. Ext. Dcha.	Ángulo Rodilla Apoyo Flex. Dcha.	Ángulo Rodilla Apoyo Ext. Dcha.	Ángulo Cad. Flex. Izq.	Ángulo Cad. Ext. Izq.	Ángulo Cad. Flex. Dcha.	Ángulo Cad. Ext. Dcha.	Tiempo Apoyo Sencillo	Tiempo Apoyo Doble	Ángulo Tobillo Apoyo Ext. Izq.
Peso														
Altura														
IMC														
Grasa Corporal														
Grasa Visceral														
Masa de Músculo Esquelético														
Cadencia de Paso														
Longitud Paso														
Longitud de Zanc. Izq.														
Longitud de Zanc. Dcha.														
Velocidad														
Ángulo Rodilla Balanceo Flex. Izq.														
Ángulo Rodilla Balanceo Ext. Izq.														
Ángulo Rodilla Apoyo Flex. Izq.														
Ángulo Rodilla Apoyo Ext. Izq.														
Ángulo Rodilla Balanceo Flex. Dcha.														
Ángulo Rodilla Balanceo Ext. Dcha.														

Ángulo Rodilla Apoyo Flex. Dcha.	.592**			
Ángulo Rodilla Apoyo Ext. Dcha.				
Ángulo Cadera Flex. Izq.		.897**	.924**	.881**
				.545*

Nota: Bal= Fase de balanceo, Cad= cadera, Zanc= zancada.

VARIABLES	Ángulo Rodilla Bal. Ext. Izq.	Ángulo Rodilla Apoyo Flex. Izq.	Ángulo Rodilla Apoyo Ext. Izq.	Ángulo Rodilla Bal. Flex. Dcha.	Ángulo Rodilla Bal. Ext. Dcha.	Ángulo Rodilla Apoyo Flex. Dcha.	Ángulo Rodilla Apoyo Ext. Dcha.	Ángulo Cad. Flex. Izq.	Ángulo Cad. Ext. Izq.	Ángulo Cad. Flex. Dcha.	Ángulo Cad. Ext. Dcha.	Tiempo Apoyo Sencillo	Tiempo Apoyo Doble	Ángulo Tobillo Apoyo Ext. Izq.
Ángulo Cad. Ext Izq.									.863**	.946**				
Ángulo Cad. Flex Dcha.										.925**				
Ángulo Cad. Ext Dcha.														
Tiempo Apoyo Sencillo													.575**	

Nota: Bal= Fase de balanceo, Cad= cadera, Zanc= zancada.

VARIABLES	Ángulo Tobillo Apoyo Flex. Izq.	Ángulo Tobillo Balanceo Ext. Izq.	Ángulo Tobillo Balanceo Flex. Izq.	Ángulo Tobillo Apoyo Ext. Dcho.	Ángulo Tobillo Apoyo Flex. Dcho.	Ángulo Tobillo Balanceo Ext. Dcho.	Ángulo Tobillo Balanceo Flex. Dcho.
Peso						-.467*	
IMC		-.456*				-.562**	
Grasa Corporal		-.512*				-.541*	
Grasa Visceral		-.465*				-.647**	
Longitud Paso				.518*			
Ángulo Rodilla Apoyo Flex. Dcho.			.475*				
Ángulo Rodilla Apoyo Ext. Dcho.	.498*				.575**		
Ángulo Cadera Flex. Izq.							.527*
Ángulo Cadera Flex. Dcho.							.455*
Ángulo Cadera Ext. Dcho.							.489*
Ángulo Tobillo Apoyo Ext. Izq.	.685**	.564**	.869**	.551*		.492*	.684**
Ángulo Tobillo Apoyo Flex. Izq.		.566**	.856**	.449*	.635**	.676**	.616**
Ángulo Tobillo Balanceo Ext. Izq.			.626**	.549*		.622**	.448*
Ángulo Tobillo Balanceo Flex Izq.				.494*	.449*	.544*	.742**
Ángulo Tobillo Apoyo Ext. Dcho.						.571**	.554*
Ángulo Tobillo Apoyo Flex. Dcho.						.567**	.584**
Ángulo Tobillo Balanceo Ext. Dcho.							.627**

En los siguientes diagramas de cajas se presentan las variables, IMC, grasa corporal, masa de músculo esquelético y ángulo de tobillo balanceo extensión izquierdo de ambos grupos. Con el fin de identificar si existe diferencia entre ambos grupos.

Se presenta en la figura 17, la variable de índice de masa corporal (IMC) con respecto a los dos estados nutricionales normopeso y obesidad. En la gráfica se observa que existe diferencia significativa entre los del grupo con normopeso y obesidad, el grupo con obesidad mostraron un IMC mayor con una mediana de 32.6, comparados con los del grupo normopeso; con un valor máximo de 24.8.

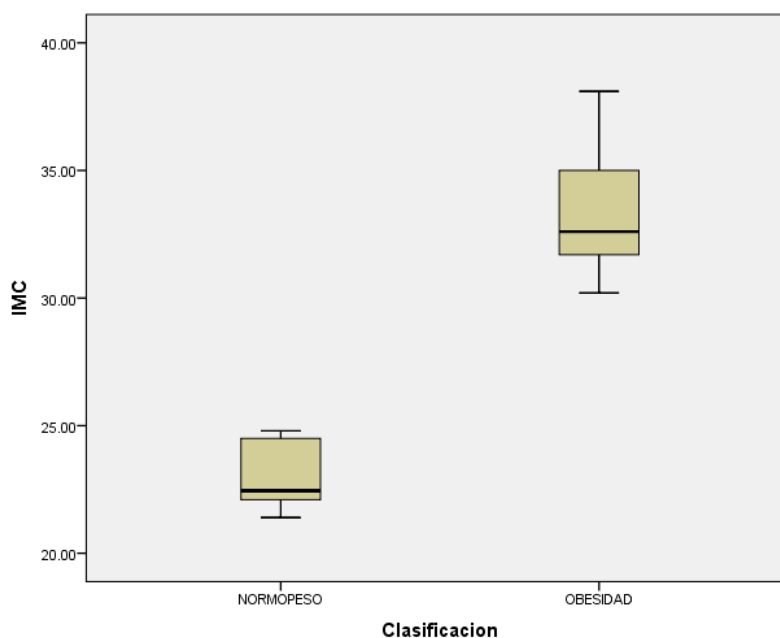


Figura 17. Gráfica del índice de masa corporal del grupo en normopeso y con obesidad

En la figura 18, se presentan los resultados obtenidos en el inbody720 de la variable grasa corporal de los veinte estudiantes evaluados. Los estudiantes con normopeso obtuvieron valores menores de grasa corporal con un promedio (18.63 ± 5.07) respecto a los estudiantes con obesidad con un promedio (37.47 ± 7.23).

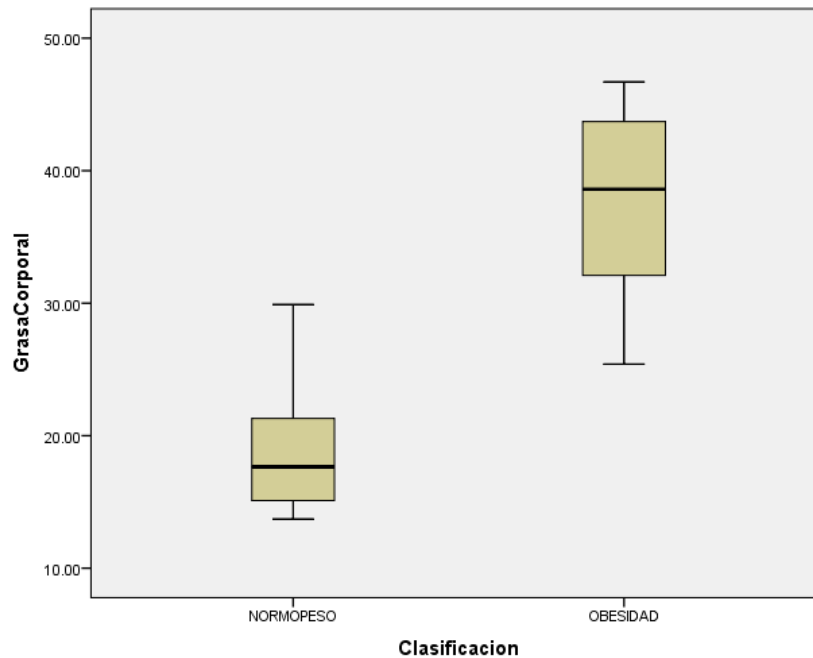


Figura 18. Gráfica de grasa corporal de los estudiantes con normopeso y con obesidad

En la siguiente gráfica se presentan los valores obtenidos de la variable masa de músculo esquelético en donde se aprecia, en los estudiantes con normopeso con un valor máximo 37.5 y un mínimo de 23.2 con un promedio (29.86 ± 4.09), con un valor atípico por encima, mientras que el grupo con obesidad obtuvieron un promedio (33.26 ± 8.27), con un valor mínimo 21.20 y un valor máximo 45.20, presenta una mayor concentración el 50% arriba de la mediana, mientras los valores que están por debajo de la mediana presentan una mayor dispersión. La caja del grupo en normopeso esta solapada con la caja del grupo con obesidad, lo que nos indica que no hay diferencia significativa entre los dos grupos. (ver figura 19)

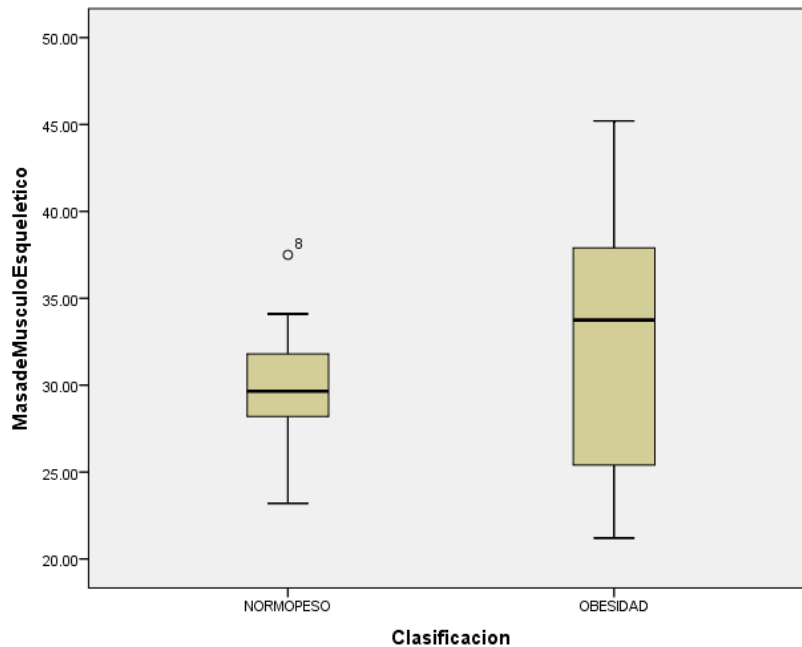


Figura 19. Gráfica de la variable masa de músculo esquelético de los estudiantes con normopeso y con obesidad.

En la figura 20 se observa que existe diferencia en la variable del ángulo de tobillo balanceo extensión izquierdo entre los estudiantes clasificados en normopeso, con respecto a los estudiantes con obesidad. Se aprecia que las cajas no se solapan, lo que indica que existe diferencia entre los dos grupos. El grupo con obesidad obtuvieron una mediana (-19.23) presenta una mayor dispersión los valores por debajo de la mediana, mientras los valores que están por encima de la mediana presentan una mayor concentración. A diferencia del grupo en normopeso presenta una mayor dispersión los valores por arriba de la mediana y una mayor concentración los valores por debajo de la mediana. Lo que indica que el grupo con obesidad presentan un menor ángulo de tobillo en la fase de balanceo extensión izquierdo.

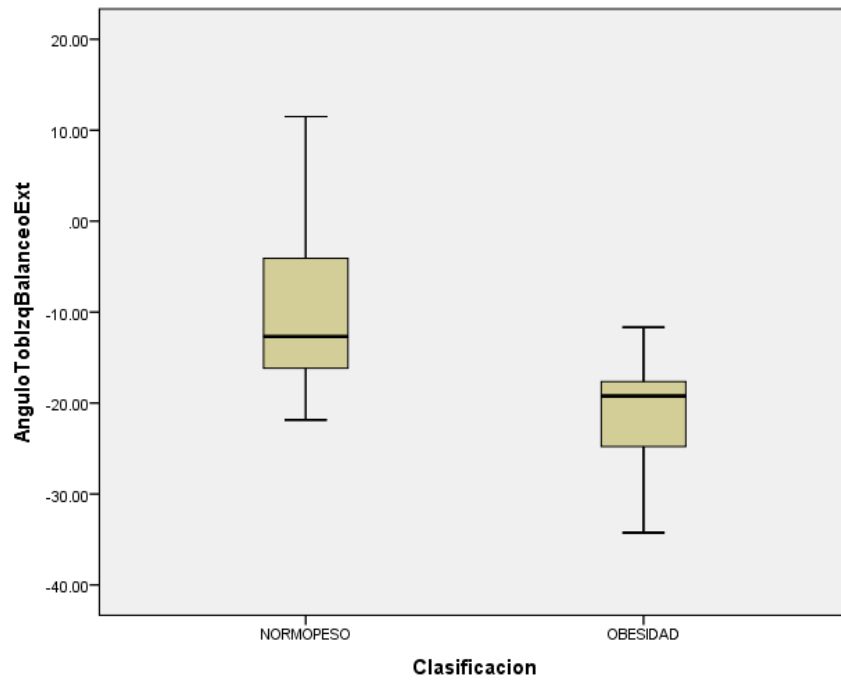


Figura 20. Gráfica de la variable ángulo de tobillo izquierdo en la fase de balanceo extensión de los estudiantes con normopeso y con obesidad.

CAPÍTULO VI

DISCUSIÓN

6.1 Discusión

Como se mencionó anteriormente, el fin de este trabajo fue analizar las alteraciones que se presentan en los parámetros cinemáticos y espaciotemporales en la marcha en un grupo de estudiantes universitarios con obesidad y normopeso de la Facultad de Deportes, utilizando el sistema de captura de movimiento Vicon®, los participantes se desplazaron caminando descalzos 4 m en el laboratorio de Biomecánica y Ergonomía de la Facultad de Deportes, Campus Mexicali, UABC, con una velocidad que ellos mismo seleccionaron. El análisis de la composición corporal se realizó con el equipo InBody 720, evaluando las variables Índice de Masa Corporal (IMC), porcentaje de grasa corporal, área de grasa visceral y masa de músculo esquelético.

Los resultados conseguidos exponen que hay una diferencia significativa entre el grupo de obesos y normopeso en el ángulo de extensión del tobillo o flexión plantar durante la fase de balanceo de la marcha tanto del pie izquierdo como del derecho; de manera distinta los parámetros espaciotemporales no mostraron una diferencia significativa estadísticamente.

Jegede et al. llevó a cabo un estudio donde participaron 30 personas obesas (edad: 32.0 ± 8.26) y 28 (edad: 29.32 ± 6.06) con un peso normal, donde indicaron que el grupo de los participantes con obesidad mostraban una velocidad menor al caminar, la longitud de paso y de zancada eran más corta comparada con el grupo en normopeso (Jegede et al., 2017). Por su parte, Desrochers et al. también presento valores de parámetros

espaciotemporales de la marcha de un grupo de 14 personas obesas y un grupo de 20 normopeso (edad entre 35 y 66 años) donde muestra que hay diferencia significativa en relación con la cadencia, la longitud del paso siendo más corta en el grupo de las personas obesas, la velocidad de la marcha más lenta y el apoyo sencillo mantenido por menos tiempo mientras que el doble apoyo más extenso (Desrochers et al., 2021), coincidiendo con los resultados del estudio antes mencionado, planteando que los resultados eran los esperados puesto que en múltiples estudios han indicado que al elevarse el peso corporal este se relaciona con cambios en la biomecánica de la marcha, como una consecuencia adaptativa frente a un control postural inestable para la prevención de caídas (Desrochers et al., 2021; Jegede et al., 2017; Maktouf et al., 2020; Meng et al., 2017; Montes-Alguacil et al., 2019). Los resultados obtenidos en nuestro estudio no coinciden con las variables de las investigaciones antes mencionadas. Sin embargo, es importante destacar que nuestros participantes son personas obesas físicamente activos, por lo cual dichas variables no se ven afectadas, dado que los participantes realizan actividad física constante.

Otras investigaciones como Nantel et al. en su estudio conformado por 10 niños obesos y 10 niños en normopeso mostro un análisis estadístico donde no se indicaron diferencias significativas entre los grupos para la cadencia, velocidad, la longitud de la zancada, la fase de apoyo y la fase de apoyo doble (Nantel et al., 2006), así mismo, Montes-Alguacil et al. en su estudio conformado por 54 niños obesos y 45 normopeso (edad: 7 a 11 años) destacó que los parámetros de la marcha relativos al espacio no mostraron diferencia significativas entre grupos (Montes-Alguacil et al., 2019), indican que la razón por la que sus resultados no fueron significativos fue que los niños de su estudio eran activos físicamente, coincidiendo con nuestros resultados obtenidos, nuestros participantes realizan actividad física supervisada al menos 4 días por semana; se ha demostrado que la

actividad física puede mejorar la velocidad y los parámetros cinemáticos y cinéticos de la marcha (Nantel et al., 2006).

Los resultados obtenidos muestran una diferencia significativa entre el grupo de obesos y normopeso en el ángulo de extensión del tobillo o flexión plantar durante el inicio del fase de balanceo de la marcha tanto del pie izquierdo como del derecho; dichos resultados son distintos a los expuesto en el estudio realizado por Lai et al. donde participaron 14 personas con obesidad y 14 personas con normopeso y no mostraron diferencias significativas entre los movimientos del plano sagital (Lai et al., 2008; Meng et al., 2017), mientras que de forma contraria en un estudio previo, exponen que la extensión en balanceo es superior en personas con normopeso (Ramirez et al., 2018).

Los ángulos más bajos de flexión plantar en la fase de apoyo, se han observado en personas con una velocidad significativamente más lenta (Mcmillan et al., 2010), sin embargo, los dos grupos que evaluamos mantienen una velocidad muy similar entre ellos, dado que ambos grupos son físicamente activos, esto se aprecia en el promedio de la masa de músculo esquelético, que presentan el grupo con obesidad es (33.26 ± 7.85) y el grupo de normopeso (29.86 ± 3.88) .

Es preciso señalar que no hay suficiente información de estudios que analicen las variables establecidas en personas obesas físicamente activas y mucho menos en el rango de edad trabajado.

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES

7.1 Conclusiones

Con el presente trabajo se pudo determinar que la obesidad afecta la variable del ángulo de extensión de tobillo derecho e izquierdo en la fase de balanceo, siendo los participantes con obesidad quienes presentaron una mayor extensión en comparación con sujetos en normopeso. Este fenómeno podría ser causante de caídas, una mayor extensión de tobillo en la fase de balanceo dejaría la punta del pie más cercana al suelo y es sabido que la obesidad es constantemente asociada al incremento del riesgo de caídas.

A pesar de no coincidir con resultados de investigaciones previas y similares, la metodología propuesta y tecnología utilizada fue apropiada y especializada según estudios preliminares.

7.2 Líneas futuras

Este trabajo de Tesis puede ser continuado en un futuro, seguir estudiando la marcha en jóvenes adultos, aumentando la muestra, así como trabajar con una población con obesidad, pero sedentaria. También se propone comprobar si las personas que se encuentran en normopeso tienen un patrón de marcha “normal” y si las personas con obesidad a pesar de padecer de esta pueden tener un patrón de marcha “normal”.

LITERATURA CITADA

- Arellano-González, J. C., Medellín-Castillo, H. I., & Cervantes-Sánchez, J. J. (2019). Identificación y análisis de los parámetros biomecánicos utilizados para la evaluación de la marcha humana normal y patológica. *Memorias Del XXV Congreso Internacional Anual de La SOMIM*, 1–9.
<http://somim.org.mx/memorias/memorias2019/mecteo.html>
- Baker, R. (2007). The history of gait analysis before the advent of modern computers. In *Gait and Posture* (Vol. 26, Issue 3, pp. 331–342). Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2006.10.014>
- Barragán, G. (2005). *Prevalencia de Obesidad en Preescolares en el Municipio de Colima*. Cámara, J. (2011). Análisis de la marcha: sus fases y variables espacio-temporales. *Entramado*, 7(enero-junio), 160–173.
- Collado, S. (2002). *ANÁLISIS DE LA MARCHA HUMANA CON PLATAFORMAS DINAMOMÉTRICAS. INFLUENCIA DEL TRANSPORTE DE CARGA* (Vol. 1).
- Collado, S. (2004). LA MARCHA: HISTORIA DE LOS PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS. Susana Collado Vázquez. *Biociencias*, 2, 2–15.
http://www.uax.es/publicaciones/archivos/CCSREV04_005.pdf%5Cnscollvaz@uax.es
- Collado, S., & Carrillo, J. (2015). Balzac y el análisis de la marcha humana. In *Neurología* (Vol. 30, Issue 4, pp. 240–246). Spanish Society of Neurology.
<https://doi.org/10.1016/j.nrl.2012.03.016>
- Desrochers, P. C., Kim, D., Keegan, L., & Gill, S. V. (2021). Association between the Functional Gait Assessment and spatiotemporal gait parameters in individuals with obesity compared to normal weight controls : A proof-of-concept study. *Journal of Musculoskeletal and Neural Interactions*, 1–8.
- Garca, G. (2017). *Norma oficial mexicana para el tratamiento integral del sobrepeso y obesidad*. <https://Es.Slideshare.Net/GuillermoGarcaChvez/Norma-Oficial-Mexicana-Para?El-Tratamiento-Integral-Del-Sobrepeso-y-Obesidad/13>. [Accessed: 01-Oct-2017].
- García, J. (2017). *Caracterización neuromecánica de la marcha humana en pacientes con diplegia espástica*.
- Gómez Hernández, A. E., Archila Díaz, J. F., & Gan Acosta, A. (2011). Kinematic Model for Direct Analysis of Human Progress. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 2(March), 63–69.
- González, M., Arrayales, E., & Carlos, V.-A. (2018). Biomecánica en la actividad física y deporte : concepto y aplicación. *UABC*, 94(Julio-Diciembre), 9–15.
- Harding, G. T., Dunbar, M. J., Hubble-Kozey, C. L., Stanish, W. D., & Astephen Wilson, J. L. (2016). Obesity is associated with higher absolute tibiofemoral contact and muscle forces during gait with and without knee osteoarthritis. *Clinical Biomechanics*, 31, 79–86. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2015.09.017>
- Instituto Nacional de Salud Publica. (2018). *Encuesta Nacional Nutrición Diseño Conceptual de Salud y Nutrición*.
- Jegede, J. A., Adegoke, B. O. A., & Olagbegi, O. M. (2017). Clinical Study Effects of a Twelve-Week Weight Reduction Exercise Programme on Selected Spatiotemporal Gait Parameters of Obese Individuals. *Hindawi*, 7.

- <https://doi.org/10.1155/2017/4193256>
- Jiménez Leal, R., Gómez Maya, M., Dapuerto Menchaca, D., & Escribano Sánchez, S. (2012). Estudio articular del miembro inferior durante la fase de apoyo de la marcha. *Revista Española de Podología*, 23(3), 108–110.
- Lai, P. P. K., Leung, A. K. L., Li, A. N. M., & Zhang, M. (2008). Three-dimensional gait analysis of obese adults. *Clinical Biomechanics*, 23, s2–s6.
<https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2008.02.004>
- Maktouf, W., Durand, S., Boyas, S., Pouliquen, C., & Beaune, B. (2020). Interactions among obesity and age-related effects on the gait pattern and muscle activity across the ankle joint. *Experimental Gerontology*, 140, 111054.
<https://doi.org/10.1016/j.exger.2020.111054>
- Martín Noguerras, A., Calvo Arenillas, J., Orejuela Rodríguez, J., Barbero Iglesias, F. J., & Sánchez Sánchez, C. (1999). Fases de la marcha humana. *Revista Iberoamericana de Fisioterapia y Kinesiología*, 2(1), 44–49.
- Mcmillan, A. G., Pulver, A. M. E., Collier, D. N., & Williams, D. S. B. (2010). Sagittal and frontal plane joint mechanics throughout the stance phase of walking in adolescents who are obese. *Gait & Posture*, 32, 263–268.
<https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2010.05.008>
- Meng, H., O'Connor, D. P., Lee, B. C., Layne, C. S., & Gorniak, S. L. (2017). Alterations in over-ground walking patterns in obese and overweight adults. *Gait and Posture*, 53, 145–150. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2017.01.019>
- Montes-Alguacil, J., Páez-Moguer, J., Jiménez Cebrián, A. M., Muñoz, B. Á., Gijón-Noguerón, G., & Morales-Asencio, J. M. (2019). The influence of childhood obesity on spatio-temporal gait parameters. *Gait and Posture*, 71, 69–73.
<https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2019.03.031>
- Moreno, M. (2012). Definición y clasificación de la obesidad. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 23(2), 124–128. [https://doi.org/10.1016/s0716-8640\(12\)70288-2](https://doi.org/10.1016/s0716-8640(12)70288-2)
- Nantel, J., Brochu, M., & Prince, F. (2006). Locomotor strategies in obese and non-obese children. *Obesity*, 14(Octubre), 1789–1794. <https://doi.org/10.1038/oby.2006.206>
- OMS. (2020). *Organización Mundial de la Salud*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>.
- Ramirez, R., Carmona, D., Hernández, K., Velazquez, J., Morales, A., & Vega-Gonzales. (2018). Cinemática de la Marcha en Adultos Jóvenes con Peso Normal , Sobrepeso y Obesidad. *Sociedad Mexicana de Ingeniería Biomedica*, 366–369.
- Rodón Ortega, A., Vallejo Castillo, F. J., & García Falcón, M. E. (2014). Evaluación Nutricional Mediante técnicas de impedancia. Ventajas e inconvenientes en TCA. *Trastornos de La Conducta Alimentaria*, 19, 2090–2114.
http://www.tcasevilla.com/archivos/impedancia_bioelectrica_en_tca.pdf
- Shultz, S. P., D'Hondt, E., Fink, P. W., Lenoir, M., & Hills, A. P. (2014). The effects of pediatric obesity on dynamic joint malalignment during gait. *Clinical Biomechanics*, 29(7), 835–838. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2014.05.004>
- Shultz, S. P., Sitler, M. R., Tierney, R. T., Hillstrom, H. J., & Song, J. (2009). Effects of Pediatric Obesity on Joint Kinematics and Kinetics During 2 Walking Cadences. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 90(12), 2146–2154.

- <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2009.07.024>
- Strutzenberger, G., Richter, A., Schneider, M., Mündermann, A., & Schwameder, H. (2011). Effects of obesity on the biomechanics of stair-walking in children. *Gait and Posture*, 34(1), 119–125. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2011.03.025>
- Tacué, J. J., & Tacué, G. (2015). Simulación del Ciclo de Marcha del Robot Bipedo Bioloid en el Entorno Virtual V-REP. *XVII Congreso Mexicano de Robótica, November*.
- Vera, P., & Instituto de Biomecánica de Valencia. (1999). Biomecánica de la marcha humana normal y patológica. In *Biomecánica de la marcha humana normal y patológica* (pp. 37–46).
- Verdín, C. (2017). *Análisis asociación de índice de masa corporal y circunferencias corporales de mujeres en Mexicali, Baja California*.
- Vicon Motion Systems. (2017). *Plug-in Gait Reference Guide* (Vol. 1). <https://www.vicon.com/vicon/about>
- Vientos. (2018). *Se mantiene BC como primer lugar en obesidad*. <http://www.4vientos.net/2018/09/03/Se-Mantiene-Bc-Como-Primer-Lugar-En-Obesidad/>. <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-76887-8><http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-93594-2><http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-409517-5.00007-3><http://dx.doi.org/10.1016/j.jff.2015.06.018><http://dx.doi.org/10.1038/s41559-019-0877-3><http://dx.do>
- Villa Moreno, A., Gutiérrez Gutiérrez, E., & Pérez Moreno, J. C. (2008). Electromiografía Y Dinamometría. *Revista Ingeniería Biomédica*, 2(Enero-Junio), 16–26.
- Yañez, S. (2018). *Estudio Comparativo de Sistemas de Análisis de Marcha Basados en Sensores Inerciales y Cámaras Infrarrojas*. http://repositorio.udec.cl/bitstream/11594/359/1/Tesis_estudio_comparativo_de_sistemas.Image.Marked.pdf

ANEXOS

En este capítulo se presentan las variables analizadas en la valoración biomecánica de la marcha de los estudiantes con normopeso y obesidad.

En la tabla 23 y 24 se presentan los resultados de las variables de longitud de zancada de pierna izquierda y pierna derecha. De tres zancadas obtenidas en el ciclo de la marcha.

Tabla 23. Longitud de zancada (m) de pierna izquierda durante 3 ciclos de marcha.

LONGITUD DE ZANCADA DE PIERNA IZQUIERDA				
SUJETO	1er. ZANCADA	2da. ZANCADA	3ra. ZANCADA	PROMEDIO
SUJETO 1	1.21	1.20	1.19	1.20
SUJETO 2	1.33	1.31	1.29	1.31
SUJETO 3	1.25	1.26	1.23	1.25
SUJETO 4	1.39	1.35	1.38	1.37
SUJETO 5	1.30	1.38	1.36	1.35
SUJETO 6	1.20	1.36	1.34	1.30
SUJETO 7	1.32	1.32	1.24	1.30
SUJETO 8	1.26	1.26	1.24	1.26
SUJETO 9	1.31	1.31	1.29	1.30
SUJETO 10	1.34	1.43	1.39	1.39

Tabla 24. Longitud de zancada (m) de pierna derecha durante 3 ciclos de marcha.

LONGITUD DE ZANCADA DE PIERNA DERECHA				
SUJETO	1er. ZANCADA	2da. ZANCADA	3ra. ZANCADA	PROMEDIO
SUJETO 1	1.19	1.22	1.21	1.20
SUJETO 2	1.28	1.38	1.30	1.32
SUJETO 3	1.26	1.27	1.25	1.26
SUJETO 4	1.39	1.37	1.33	1.36
SUJETO 5	1.30	1.35	1.41	1.35
SUJETO 6	1.29	1.36	1.32	1.33
SUJETO 7	1.36	1.28	1.30	1.31
SUJETO 8	1.27	1.26	1.26	1.26
SUJETO 9	1.33	1.30	1.12	1.25
SUJETO 10	1.32	1.38	1.44	1.38

Tabla 25. Longitud (m) de paso de 3 ciclos de marcha.

LONGITUD DE PASO								
SUJETO	PASO 1	PASO 2	PASO 3	PASO 4	PASO 5	PASO 6	PASO 7	PROMEDIO
SUJETO 1	618.75	590.83	595.83	607.58	611.31	578.08	627.64	604.25
SUJETO 2	635.67	640.30	691.28	685.01	628.69	670.10	616.16	652.46
SUJETO 3	625.19	631.30	619.16	649.41	612.55	634.90	596.34	624.12
SUJETO 4	673.74	720.37	670.34	676.65	689.63	691.77	640.67	680.45
SUJETO 5	679.61	616.48	687.94	666.53	716.77	691.93	672.89	676.02
SUJETO 6	572.67	628.90	664.96	699.68	665.14	673.77	648.56	650.53
SUJETO 7	668.50	688.59	634.32	650.66	674.26	622.91	616.38	650.80
SUJETO 8	641.42	630.43	633.95	624.68	637.83	625.59	613.18	629.58
SUJETO 9	651.42	610.51	702.66	628.19	679.39	619.77	667.98	651.42
SUJETO 10	692.46	628.23	715.39	665.95	764.61	676.40	716.47	694.51

Tabla 26. Velocidad promedio del centro de masa.

VELOCIDAD DEL CENTRO DE MASA	
SUJETO	m/s
SUJETO 1	1.16
SUJETO 2	1.22
SUJETO 3	1.22
SUJETO 4	1.32
SUJETO 5	1.25
SUJETO 6	1.10
SUJETO 7	1.17
SUJETO 8	1.01
SUJETO 9	1.28
SUJETO 10	1.38

Tabla 27. Cadencia de la marcha.

CADENCIA	
SUJETO	PASOS POR MINUTO
SUJETO 1	115.58
SUJETO 2	111.02
SUJETO 3	116.20
SUJETO 4	116.15
SUJETO 5	110.94
SUJETO 6	99.31
SUJETO 7	107.10
SUJETO 8	95.60
SUJETO 9	122.62
SUJETO 10	119.79

Tabla 28.

Ángulos proyectados durante 3 ciclos de marcha por la rodilla izquierda.

ÁNGULOS DE RODILLA IZQUIERDA				
SUJETO	APOYO		BALANCEO	
	MÁX. FLEXIÓN	MÁX. EXTENSIÓN	MÁX. FLEXIÓN	MÁX. EXTENSION
SUJETO 1	15.26	2.74	59.35	4.78
SUJETO 2	18.08	3.95	61.25	1.26
SUJETO 3	11.88	-4.48	56.16	-6.21
SUJETO 4	17.31	-6.81	65.73	-5.31
SUJETO 5	19.15	-0.61	57.92	-3.62
SUJETO 6	6.03	-3.49	53.15	-7.19
SUJETO 7	-2.26	-10.86	50.96	-7.45
SUJETO 8	10.03	1.82	54.82	1.54
SUJETO 9	-13.26	-15.26	54.42	-13.63
SUJETO 10	9.36	-1.41	60.60	-7.48

Tabla 29. Promedio de los ángulos proyectados durante 3 ciclos de marcha por la rodilla derecha.

ÁNGULOS DE RODILLA DERECHA				
SUJETO	APOYO		BALANCEO	
	MÁX. FLEXIÓN	MÁX. EXTENSIÓN	MÁX. FLEXIÓN	MÁX. EXTENSIÓN
SUJETO 1	16.45	7.46	62.75	8.92
SUJETO 2	16.84	2.44	64.37	1.01
SUJETO 3	13.70	1.02	59.66	-1.44
SUJETO 4	21.01	0.53	68.49	-1.09
SUJETO 5	20.05	3.95	67.61	1.60
SUJETO 6	7.65	-1.94	51.63	-4.16
SUJETO 7	4.18	-6.00	54.68	-3.38
SUJETO 8	11.64	2.59	58.00	4.26
SUJETO 9	12.59	1.45	58.92	-6.60
SUJETO 10	12.47	4.81	64.77	-3.04

Tabla 30. Los ángulos proyectados durante 3 ciclos de la marcha por el tobillo izquierdo.

ÁNGULOS DEL TOBILLO IZQUIERDO				
SUJETO	APOYO		BALANCEO	
	MÁX. EXTENSIÓN	MÁX. FLEXIÓN	MÁX. EXTENSIÓN	MÁX. FLEXIÓN
SUJETO 1	-7.17	14.88	-12.68	4.86
SUJETO 2	-9.83	5.26	-21.87	-2.72
SUJETO 3	-7.37	11.44	-16.18	3.10
SUJETO 4	-5.05	13.63	-14.93	11.27
SUJETO 5	-3.87	14.08	-4.09	8.66
SUJETO 6	-6.18	9.63	-11.49	4.31
SUJETO 7	-7.89	8.88	-20.58	3.67
SUJETO 8	-4.41	20.29	-0.56	13.84
SUJETO 9	-8.05	15.21	-7.88	6.27
SUJETO 10	-8.92	9.66	-12.68	1.27

Tabla 31. Los ángulos proyectados durante 3 ciclos de la marcha por el tobillo derecho.

ÁNGULOS DEL TOBILLO DERECHO				
	APOYO		BALANCEO	
SUJETO	MÁX. EXTENSIÓN	MÁX. FLEXIÓN	MÁX. EXTENSIÓN	MÁX. FLEXIÓN
SUJETO 1	-3.48	14.25	-6.42	7.61
SUJETO 2	-13.58	4.03	-23.68	-3.95
SUJETO 3	-6.39	13.07	-17.09	3.13
SUJETO 4	-9.06	11.75	-15.04	4.54
SUJETO 5	-3.43	15.60	-16.56	3.23
SUJETO 6	-3.62	7.41	-12.55	6.31
SUJETO 7	-5.85	10.75	-16.73	7.55
SUJETO 8	-5.13	17.40	-5.33	12.06
SUJETO 9	-4.56	11.87	-14.63	3.89
SUJETO 10	-6.39	15.22	-7.75	7.51

Tabla 32. Los ángulos proyectados por la cadera durante 3 ciclos de la marcha.

ÁNGULOS DE CADERA IZQUIERDA		
SUJETO	MÁX. FLEXIÓN	MÁX. EXTENSIÓN
SUJETO 1	33.16	-7.83
SUJETO 2	21.88	-19.88
SUJETO 3	21.31	-22.28
SUJETO 4	25.16	-25.63
SUJETO 5	39.65	-6.84
SUJETO 6	26.05	-16.42
SUJETO 7	33.97	-12.39
SUJETO 8	26.01	-13.60
SUJETO 9	32.69	-9.64
SUJETO 10	34.89	-9.41

Tabla 33. Tiempo transcurrido en apoyo sencillo.

TIEMPO DE APOYO SENCILLO			
SUJETO	1er. APOYO	2do. APOYO	PROMEDIO
SUJETO 1	0.63	0.64	0.64
SUJETO 2	0.64	0.63	0.63
SUJETO 3	0.59	0.60	0.60
SUJETO 4	0.63	0.61	0.62
SUJETO 5	0.66	0.64	0.65
SUJETO 6	0.76	0.75	0.76
SUJETO 7	0.68	0.68	0.68
SUJETO 8	0.78	0.77	0.77
SUJETO 9	0.62	0.60	0.61
SUJETO 10	0.61	0.78	0.69

Tabla 34. Tiempo transcurrido en los apoyos dobles.

TIEMPO DE APOYO DOBLE			
SUJETO	1er. APOYO	2do. APOYO	PROMEDIO
SUJETO 1	0.12	0.11	0.11
SUJETO 2	0.11	0.09	0.10
SUJETO 3	0.08	0.08	0.08
SUJETO 4	0.10	0.08	0.09
SUJETO 5	0.11	0.10	0.10
SUJETO 6	0.15	0.14	0.15
SUJETO 7	0.12	0.12	0.12
SUJETO 8	0.15	0.11	0.13
SUJETO 9	0.12	0.11	0.11
SUJETO 10	0.10	0.09	0.10

En las siguientes tablas se presentan los resultados obtenidos en cada una de las variables, evaluadas en el ciclo de la marcha, para los individuos que presentaron obesidad.

Tabla 35. Longitud (m) de zancada de la pierna izquierda durante 3 ciclos de marcha.

LONGITUD DE ZANCADA DE PIERNA IZQUIERDA				
SUJETO	1er. ZANCADA	2da. ZANCADA	3ra. ZANCADA	PROMEDIO
SUJETO 1	1.47	1.38	1.37	1.41
SUJETO 2	1.20	1.30	1.26	1.25
SUJETO 3	1.26	1.30	1.19	1.25
SUJETO 4	1.35	1.42	1.41	1.39
SUJETO 5	1.31	1.31	1.30	1.31
SUJETO 6	1.29	1.25	1.25	1.26
SUJETO 7	1.15	1.21	1.19	1.19
SUJETO 8	1.39	1.48	1.41	1.43
SUJETO 9	1.38	1.36	1.27	1.34
SUJETO 10	1.27	1.23	1.26	1.25

Tabla 36. Longitud (m) de zancada de la pierna derecha durante 3 ciclos de marcha.

LONGITUD DE ZANCADA DE PIERNA DERECHA				
SUJETO	1er. ZANCADA	2da. ZANCADA	3ra. ZANCADA	PROMEDIO
SUJETO 1	1.45	1.40	1.32	1.39
SUJETO 2	1.26	1.27	1.25	1.26
SUJETO 3	1.25	1.31	1.19	1.25
SUJETO 4	1.38	1.44	1.23	1.35
SUJETO 5	1.23	1.32	1.32	1.29
SUJETO 6	1.26	1.25	1.29	1.27
SUJETO 7	1.17	1.20	1.23	1.20
SUJETO 8	1.43	1.48	1.37	1.43
SUJETO 9	1.40	1.22	1.29	1.30
SUJETO 10	1.24	1.25	1.27	1.25

Tabla 37. Longitud (mm) de paso durante 3 ciclos de marcha.

LONGITUD DE PASO								
SUJETO	PASO 1	PASO 2	PASO 3	PASO 4	PASO 5	PASO 6	PASO 7	PROMEDIO
SUJETO 1	678.45	793.17	659.32	718.90	684.42	687.82	634.24	693.76
SUJETO 2	584.23	612.00	650.98	650.34	616.04	644.21	602.36	622.88
SUJETO 3	603.75	641.33	614.23	692.62	605.96	583.85	610.10	621.69
SUJETO 4	668.90	681.60	696.22	719.62	717.31	695.43	537.79	673.84
SUJETO 5	598.04	627.58	683.02	638.25	668.33	648.31	654.54	645.44
SUJETO 6	602.29	658.35	629.97	623.61	630.10	656.43	593.61	627.76
SUJETO 7	584.76	567.71	606.75	607.68	591.59	597.47	631.32	598.18
SUJETO 8	664.84	723.34	705.13	775.11	700.27	711.80	660.81	705.90
SUJETO 9	691.79	683.64	713.15	647.70	569.51	702.14	583.76	655.96
SUJETO 10	621.77	643.94	597.27	635.35	611.75	650.32	620.32	625.82

Tabla 38. Velocidad del centro de masa durante la marcha.

VELOCIDAD DEL CENTRO DE MASA	
SUJETO	m/s
SUJETO 1	1.24
SUJETO 2	1.22
SUJETO 3	1.17
SUJETO 4	1.14
SUJETO 5	1.19
SUJETO 6	1.15
SUJETO 7	1.00
SUJETO 8	1.38
SUJETO 9	1.27
SUJETO 10	1.16

Tabla 39. Cadencia.

CADENCIA	
SUJETO	PASOS POR MINUTO
SUJETO 1	106.53
SUJETO 2	116.06
SUJETO 3	112.60
SUJETO 4	101.35
SUJETO 5	110.66
SUJETO 6	109.11
SUJETO 7	99.91
SUJETO 8	116.59
SUJETO 9	117.61
SUJETO 10	111.39

Tabla 40. Ángulos proyectados por la rodilla izquierda durante 3 ciclos de marcha.

ÁNGULOS DE RODILLA IZQUIERDA				
SUJETO	APOYO		BALANCEO	
	MÁX. FLEXIÓN	MÁX. EXTENSIÓN	MÁX. FLEXIÓN	MÁX. EXTENSION
SUJETO 1	11.53	-2.11	54.96	-4.41
SUJETO 2	22.07	7.37	69.78	7.13
SUJETO 3	3.53	-1.89	67.98	-4.70
SUJETO 4	0.63	-1.53	65.09	-9.91
SUJETO 5	10.45	-0.82	52.56	-4.02
SUJETO 6	2.18	-6.53	50.35	-3.01
SUJETO 7	-0.52	-7.53	47.37	-7.16
SUJETO 8	17.95	-2.73	59.27	2.79
SUJETO 9	14.95	5.05	69.09	4.97
SUJETO 10	3.62	-8.91	53.35	-10.91

Tabla 41. Ángulos proyectados por la rodilla derecha durante 3 ciclos de marcha.

ÁNGULOS DE RODILLA DERECHA				
	APOYO		BALANCEO	
SUJETO	MAX. FLEXIÓN	MAX. EXTENSIÓN	MAX. FLEXIÓN	MAX. EXTENSION
SUJETO 1	10.03	-2.72	56.05	-1.77
SUJETO 2	11.05	1.71	67.76	-0.61
SUJETO 3	2.76	-2.39	66.47	-6.32
SUJETO 4	17.84	12.42	73.47	4.53
SUJETO 5	11.20	4.49	51.46	-1.27
SUJETO 6	4.83	-3.40	52.85	-1.69
SUJETO 7	10.37	1.02	56.63	1.64
SUJETO 8	20.05	-0.29	59.87	-0.04
SUJETO 9	10.25	4.67	66.65	1.90
SUJETO 10	12.32	-0.47	63.29	-3.40

Tabla 42. Ángulos proyectados por el tobillo izquierdo durante tres ciclos de marcha.

ÁNGULOS DEL TOBILLO IZQUIERDO				
	APOYO		BALANCEO	
SUJETO	MAX. EXTENSIÓN	MAX. FLEXIÓN	MAX. EXTENSIÓN	MAX. FLEXIÓN
SUJETO 1	-11.28	10.35	-17.67	0.28
SUJETO 2	-2.64	13.76	-16.71	4.54
SUJETO 3	-9.56	7.46	-24.79	-1.00
SUJETO 4	-9.00	13.06	-20.18	5.35
SUJETO 5	-7.77	13.18	-18.29	3.21
SUJETO 6	-18.09	-2.72	-34.25	-10.04
SUJETO 7	-10.12	11.03	-22.58	2.89
SUJETO 8	2.57	8.72	-11.67	11.69
SUJETO 9	0.07	19.00	-17.65	11.94
SUJETO 10	-16.92	3.80	-28.71	-3.53

Tabla 43. *Ángulos proyectados por el tobillo derecho durante tres ciclos de marcha.*

ÁNGULOS DEL TOBILLO DERECHO				
	APOYO		BALANCEO	
SUJETO	MAX. EXTENSIÓN	MAX. FLEXIÓN	MAX. EXTENSIÓN	MAX. FLEXIÓN
SUJETO 1	-5.90	9.09	-18.47	-1.18
SUJETO 2	-2.90	11.30	-14.90	3.46
SUJETO 3	-12.14	15.52	-12.74	8.71
SUJETO 4	-1.41	18.89	-19.89	7.28
SUJETO 5	-7.93	13.42	-23.91	3.62
SUJETO 6	-12.97	8.91	-28.98	-4.36
SUJETO 7	-9.93	12.53	-20.30	6.56
SUJETO 8	0.44	7.90	-22.68	12.07
SUJETO 9	-5.71	15.50	-14.21	9.85
SUJETO 10	-14.33	6.68	-33.84	-0.85

Tabla 44. *Ángulos proyectados por la cadera durante la marcha.*

ÁNGULOS DE CADERA IZQUIERDA		
SUJETO	MÁX. FLEXIÓN	MÁX. EXTENSIÓN
SUJETO 1	20.20	-22.41
SUJETO 2	42.05	1.20
SUJETO 3	42.43	-5.05
SUJETO 4	28.87	-17.44
SUJETO 5	26.37	-15.12
SUJETO 6	17.37	-25.62
SUJETO 7	22.36	-18.00
SUJETO 8	40.52	-11.56
SUJETO 9	43.65	-4.63
SUJETO 10	34.41	-7.47

Tabla 45. Tiempo transcurrido en apoyo sencillo.

TIEMPO DE APOYO SENCILLO			
SUJETO	1er. APOYO	2do. APOYO	PROMEDIO
SUJETO 1	0.68	0.69	0.68
SUJETO 2	0.62	0.63	0.63
SUJETO 3	0.68	0.62	0.65
SUJETO 4	0.76	0.74	0.75
SUJETO 5	0.66	0.65	0.65
SUJETO 6	0.66	0.70	0.68
SUJETO 7	0.74	0.73	0.74
SUJETO 8	0.63	0.59	0.63
SUJETO 9	0.65	0.62	0.62
SUJETO 10	0.69	0.67	0.68

Tabla 46. Tiempo transcurrido en apoyo doble.

TIEMPO DE APOYO DOBLE			
SUJETO	1er. APOYO	2do. APOYO	PROMEDIO
SUJETO 1	0.14	0.11	0.12
SUJETO 2	0.12	0.10	0.11
SUJETO 3	0.10	0.13	0.11
SUJETO 4	0.16	0.07	0.11
SUJETO 5	0.13	0.15	0.14
SUJETO 6	0.11	0.10	0.10
SUJETO 7	0.14	0.15	0.14
SUJETO 8	0.12	0.10	0.11
SUJETO 9	0.10	0.11	0.11
SUJETO 10	0.14	0.06	0.10
