



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Máster

Análisis de la marcha en adolescentes obesos y
no obesos mediante el sistema óptico de
captura y análisis de movimiento humano
VICON

Autor

Alicia Garrido Vilches

Director

Ana Cristina Royo Sánchez

Escuela de Ingeniería y Arquitectura

2012

ANÁLISIS DE LA MARCHA EN ADOLESCENTES OBESOS Y NO OBESOS MEDIANTE EL SISTEMA ÓPTICO DE CAPTURA Y ANÁLISIS DE MOVIMIENTO HUMANO VICON

RESUMEN

La obesidad es una enfermedad crónica que puede provocar serias alteraciones de salud. Dicha enfermedad se presenta cada vez a edades más tempranas. Por ello, sobre todo durante la infancia, es importante llevar a cabo una adecuada combinación de dieta y ejercicio, al ser los métodos de control de peso más efectivos. Generalmente, las personas obesas serán más propensas a padecer patologías funcionales, siendo las alteraciones en la biomecánica de la marcha el principal problema que afecta a estas personas. Un análisis del modo de caminar ha demostrado ser una buena vía de detección de estas limitaciones de movimiento, lo que ayudará a la mejora de la calidad de vida de las personas con obesidad.

En el presente trabajo se realizó un estudio piloto de la marcha en adolescentes que sufren obesidad. Por tanto, en primer lugar, se llevó a cabo una investigación sobre los estudios más destacados que existen hasta la fecha, en relación a la obesidad y a la marcha en personas que presentan esta enfermedad.

Después de esta primera fase, fueron necesarios estudios previos para entender el sistema óptico de captura y análisis de movimiento disponible en el Laboratorio de Biomecánica del Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (Zaragoza), VICON. Este sistema permite el análisis en tres dimensiones de la marcha a partir de cámaras infrarrojas y marcadores pasivos colocados en puntos anatómicos específicos del cuerpo humano.

Seguidamente, inspirándonos en los estudios existentes, fue necesario la captura y el análisis de la marcha con el objetivo de mostrar los parámetros temporales (cadencia, tiempo de ciclo de marcha, tiempo de apoyo y duración del paso), espaciales (longitud y anchura del paso, y velocidad de la marcha) y cinemáticos (desplazamientos angulares triplanar en pelvis, cadera, rodilla y tobillo) que fueron obtenidos durante la marcha. Para ello, se creó una base de datos que se almacenará en el laboratorio a partir de las pruebas que se realizaron a adolescentes (10-16 años) tanto obesos como no obesos mientras caminaban una distancia aproximada de 8 metros. Se realizó un estudio de la marcha para obtener una mejor percepción de las diferentes características de la marcha entre ambos tipos de poblaciones.

Al evaluar los parámetros témporo-espaciales se obtuvieron resultados significativamente menores para la velocidad de la marcha, cadencia y longitud del paso, y mayores para el tiempo de apoyo (%), duración del ciclo de marcha, anchura del paso y duración del paso en el grupo de adolescentes con obesidad. En cuanto a los ángulos articulares considerados no se obtuvieron diferencias significativas entre ambos grupos para la pelvis, cadera, rodilla y tobillo. Así mismo, se verificó la fiabilidad del sistema de medición y la simetría entre los miembros inferiores.

Por último, durante la realización del Trabajo Fin de Máster (TFM) se llevaron a cabo unas prácticas en la empresa Podoactiva ubicada en el Parque Tecnológico de Walqa (Huesca). Dichas prácticas consistieron principalmente en la realización de estudios biomecánicos de la pisada para prevenir lesiones musculares y osteoarticulares o para evaluar la pisada antes y después de realizar tratamientos de patologías.

Agradecimientos

Me gustaría expresar mi gratitud a todas las personas que me han ayudado a llevar a cabo este trabajo final del máster.

A mi directora del trabajo, Ana Cristina Royo por su apoyo, orientación y ayuda durante todo el desarrollo del trabajo.

A Dorita Villarroya por el planteamiento de este estudio, su ayuda al proporcionar los datos de contacto de los adolescentes que formaron parte del grupo estudio, su orientación en la mejora del trabajo y también por su ayuda en conseguir que realizara las prácticas en Podoactiva.

A Marian Franco, por aportar sus conocimientos sobre fisiología, por su ayuda con la colocación de los marcadores y en una mejor comprensión de la última parte de los resultados obtenidos.

A Isabel García, por aportar sus conocimientos en el manejo del sistema de captura y análisis del movimiento (Vicon), su gran ayuda en las múltiples capturas de marcha y tratamiento de los datos.

A todas ellas, por todas las horas de trabajo invertidas en las sesiones de captura realizadas y su gran disposición.

Mis agradecimientos también van a todos los adolescentes que han participado en este estudio, así como a sus familiares por el interés demostrado.

Finalmente, dar las gracias también a toda las personas que me han proporcionado sugerencias valiosas durante el desarrollo de este trabajo.

Índice general

1	Introducción	1
1.1	Organización del trabajo final de máster	1
1.2	Introducción	3
1.3	Estado del arte	4
1.3.1	Análisis de la marcha en adultos con obesidad	4
1.3.2	Análisis de la marcha en adolescentes con obesidad	6
1.3.3	Análisis de la marcha en niños con obesidad	6
1.4	Justificación del estudio	8
1.5	Objetivos	9
1.6	Resumen del capítulo	10
2	Población y metodología	11
2.1	Sujetos del estudio	11
2.2	Método y materiales	12
2.2.1	Sistema experimental	12
2.2.2	Descripción del método: Pasos	14
2.3	VARIABLES DEL ESTUDIO	16
2.4	Estudio estadístico	18
2.5	Resumen del capítulo	20
3	Resultados y discusión	21
3.1	Fiabilidad	21
3.2	Simetría entre miembros inferiores	23
3.3	Comparación entre géneros	23
3.4	Características descriptivas	23
3.5	Grupo control	24
3.6	Comparación entre grupos de adolescentes con normopeso y con obesidad	26

3.6.1	Parámetros témporo-espaciales	26
3.6.2	Cinemática: desplazamientos angulares	30
3.7	Resumen del capítulo	38
4	Conclusiones y líneas futuras	39
4.1	Conclusiones	39
4.2	Líneas futuras	41
4.3	Prácticas	42
	Bibliografía	43
A	Definiciones relevantes	51
B	Evaluación del grado de obesidad	55
C	Software Vicon	57
D	Presentación y descripción del método de captura	59
D.1	Descripción del montaje experimental: Sistema VICON	59
D.2	Descripción del método	61
E	Pruebas de validación	75
F	Protocolo	83
G	Consentimiento Informado	87
H	Ficha de Recogida de Datos	89
I	Prácticas	91
I.1	Estudio biomecánico de la pisada	92
I.2	Estudio Postural en Ciclismo	100

Índice de figuras

2.1	Cámara VICON y marcador pasivo retro-reflectante.	13
3.1	Repetibilidad para los parámetros témporo-espaciales. Grupo control/obesidad.	22
3.2	Repetibilidad para los ángulos de movimiento triplanares en la pelvis, cadera, rodilla y tobillo. Grupo control/obesidad.	22
3.3	Desplazamientos angulares medios ($^{\circ}$) durante la marcha del grupo control.	25
3.4	Picos máximos de los desplazamientos angulares ($^{\circ}$) durante la fase de apoyo del grupo control; media del máximo (StD).	26
3.5	Velocidad de la marcha y longitud del paso. Grupo control/obesidad.	28
3.6	Cadencia. Grupo control/obesidad.	28
3.7	Duración ciclo de marcha y paso. Grupo control/obesidad.	29
3.8	Tiempo de apoyo porcentual y Anchura del paso. Grupo control/obesidad.	29
3.9	Desplazamientos angulares medios ($^{\circ}$) durante la marcha del grupo control y obesidad	31
3.10	Picos máximos de los desplazamientos angulares ($^{\circ}$) para la pelvis y la cadera durante la fase de apoyo del grupo control y obesidad; media del máximo (StD) y valores p.	36
3.11	Picos máximos de los desplazamientos angulares ($^{\circ}$) para la rodilla y el tobillo durante la fase de apoyo del grupo control y obesidad; media del máximo (StD) y valores p.	37
A.1	Planos Anatómicos.	51
A.2	Ciclo de Marcha.	53
A.3	Longitud de la zancada, longitud del paso y anchura del paso.	54
B.1	Gráfica BMI-for-age chicos.	56

B.2	Gráfica BMI-for-age chicas.	56
D.1	Laboratorio de biomecánica, posición y orientación cámaras.	60
D.2	Posición cámaras (izquierda) y visualización marcadores LASI y SACR por las cámaras con número 1,2,6 y 4,5,6, respectivamente (derecha).	61
D.3	Calibrador estático (arriba) y dinámico (abajo).	62
D.4	Instrumentación.	64
D.5	Medidas antropométricas.	65
D.6	Modelo PlugInGait.	66
D.7	Marcadores del modelo biomecánico de análisis del movimiento 'Plug-in-gait'.	66
D.8	Prueba Estática: Video Cámara (izquierda) y Polygon (centro y derecha).	67
D.9	Etiquetado Marcadores.	68
D.10	Esqueleto Interno.	69
D.11	Contacto pie derecho en plataforma: Video Cámara (izquierda); Levantamiento pie derecho: Polygon, visualización fuerzas sobre la plataforma (centro: esqueleto; derecha: marcadores y centro de gravedad).	70
D.12	Trayectoria Marcadores.	72
D.13	Reconstrucción Workstation (izquierda) y Bodybuilder (derecha).	72
D.14	Detección eventos ambas piernas.	73
E.1	Posición marcadores de la extremidad inferior, espina iliaca izquierda y sacro según modelo <i>Plug-In-Gait</i>	75
E.2	Ángulos del tobillo, rodilla y cadera para la posición inicial (verde), hacia dentro(morado) y hacia fuera (azul) de los marcadores de las espinas iliacas, durante un ciclo de marcha.	76
E.3	Ángulos del tobillo, rodilla y cadera para la posición inicial (azul), hacia dentro (rosa) y hacia fuera (ocre) de los marcadores de las espinas iliacas, durante un ciclo de marcha con simulación del vientre de adolescentes con obesidad.	77
E.4	Ángulos del tobillo, rodilla y cadera para la posición hacia fuera: sin inter-axis (ocre) y con inter-axis (celeste), de los marcadores de las espinas iliacas, durante un ciclo de marcha con simulación del vientre de adolescentes con obesidad y valor de inter-axis.	78

E.5	Ángulos del tobillo, rodilla y cadera para la posición inicial (verde), anterior (negra) y posterior (roja) del marcador del muslo, durante un ciclo de marcha.	80
E.6	Ángulos del tobillo, rodilla y cadera para la posición inicial (verde), anterior (rosa) y posterior (azul) del marcador de la rodilla, durante un ciclo de marcha.	81
E.7	Ángulos del tobillo, rodilla y cadera para la posición inicial (verde), anterior (rosa) y posterior (azul) del marcador del tobillo, durante un ciclo de marcha.	82
F.1	Marcador pasivo retro-reflectante.	84
G.1	Consentimiento informado.	87
H.1	Ficha de recogida de datos pacientes.	89
I.1	Sede Central Podoactiva, Walqa (Huesca).	91
I.2	Laboratorio de Biomecánica.	92
I.3	Plataforma Presiones.	94
I.4	Mapa de Presiones en Estática.	94
I.5	Gráficas Ciclo de Apoyo.	95
I.6	Trayectorias Centro de Gravedad.	96
I.7	Pista de Atletismo.	97
I.8	Paciente caminando por la Pista de Atletismo.	97
I.9	Escáner 3D Delcam i Qube.	98
I.10	Escáner 3D del pie.	98
I.11	Moldes en 3D de los pies.	99
I.12	Bicicleta montada sobre el rodillo rotor.	100
I.13	Certificado Prácticas Podoactiva.	102

Indice de tablas

3.1	Características descriptivas para el grupo control y obesidad; media (StD) y valores p.	24
3.2	Parámetros témporo-espaciales para el grupo control; media (StD) .	25
3.3	Parámetros temporales para el grupo control y obesidad; media (StD) y valores p para la cadencia (pasos/min), duración del ciclo de marcha (s), tiempo de apoyo (% del ciclo de marcha) y tiempo de paso (s).	30
3.4	Parámetros espaciales para el grupo control y obesidad; media (StD) y valores p para la velocidad de la marcha (m/s), longitud del paso (m), anchura del paso (m).	30
3.5	Ángulos (°) durante la prueba estática del grupo control y obesidad; media (StD) y valores p.	32

Capítulo 1

Introducción

1.1 Organización del trabajo final de máster

El trabajo final de máster (TFM) presenta la siguiente estructura:

- ◇ **Capítulo 1:** introducción al estudio abordado, revisión del estado del arte en relación a la obesidad y la marcha en personas obesas, justificación del estudio y enumeración de los objetivos.
- ◇ **Capítulo 2:** presentación de los sujetos que participaron en el estudio, explicación del funcionamiento del sistema Vicon, pasos para la captura de la marcha y obtención de las variables a analizar, y análisis estadísticos.
- ◇ **Capítulo 3:** resultados y discusión:
 - Computación de la repetibilidad de las pruebas de marcha para ambos grupos de estudio.
 - Computación de la simetría entre miembros inferiores durante la marcha.
 - Comparación de los parámetros de la marcha entre géneros, en ambos grupos de estudio.
 - Comprobación de la validez del grupo control como referencia.
 - Comparación de los parámetros de la marcha, entre adolescentes obesos y no obesos.
 - Cálculo de los valores medios y desviaciones estándar de las características descriptivas y parámetros témporo-espaciales [Apéndice A] para todos los participantes.

-Cálculo de los valores medios y desviaciones estándar de los parámetros angulares obtenidos durante la fase de apoyo y representación gráfica de la trayectoria angular durante dicha fase. Todo ello para la pelvis, cadera, rodilla y tobillo en los tres planos anatómicos de referencia (sagital, frontal y transversal) [Apéndice A].

-Comparación de los parámetros de la marcha, entre adolescentes obesos y no obesos.

- Análisis de los resultados obtenidos.

- ◇ **Capítulo 5:** presentación de las conclusiones más relevantes y del trabajo que se podría realizar con posterioridad. Por último, explicación del trabajo realizado durante las prácticas en la empresa Podoactiva.

Al final de cada capítulo se ha introducido un breve resumen del mismo.

El TFM cuenta con un conjunto de apéndices que se enumeran a continuación:

- ◇ Apéndice A: Definiciones relevantes.
- ◇ Apéndice B: Evaluación del grado de obesidad.
- ◇ Apéndice C: Software Vicon.
- ◇ Apéndice D: Presentación y descripción del método de captura.
- ◇ Apéndice E: Pruebas de validación.
- ◇ Apéndice F: Protocolo.
- ◇ Apéndice G: Consentimiento Informado.
- ◇ Apéndice H: Ficha de Recogida de Datos.
- ◇ Apéndice I: Prácticas Podoactiva.

Finalmente, se muestra la bibliografía consultada.

1.2 Introducción

La Organización Mundial de la Salud (OMS), declara que en los últimos años, se está produciendo un aumento considerable de la obesidad infantil a nivel mundial, considerando la obesidad como la 'gran epidemia del siglo XXI'. Así, difunde que la obesidad constituye uno de los mayores problemas de salud emergentes en el presente siglo. En España se está alcanzando el índice de obesidad infantil del país donde mayor población de niños obesos hay hasta la fecha, es decir, Estados Unidos [1, 2].

Unos hábitos de vida inadecuados durante la infancia, producen consecuencias que pueden presentarse a lo largo de la vida, afectando a la calidad de vida de la persona y favoreciendo el desarrollo de enfermedades. Una de estas enfermedades es la obesidad.

Las personas que sufren de obesidad durante la niñez y/o adolescencia, tienen un riesgo considerablemente mayor de presentar una obesidad más severa al alcanzar la edad adulta [3-7]. Por tanto, la obesidad en los niños es la principal causa de obesidad a una edad madura, lo que hace que la obesidad se defina como una enfermedad crónica.

Estas personas también tienen mayor probabilidad de padecer otras enfermedades, como la diabetes o problemas cardiovasculares y respiratorios. Además, dichos problemas se producirán a edades más tempranas que en las personas que se encuentran dentro de un peso considerado como normal [3, 6, 8-12].

Igualmente, hay que tener en cuenta que hay ciertos niños que tienen mayor probabilidad de sufrir obesidad al presentar algún tipo de enfermedad. Es el caso de niños con desórdenes alimentarios o con diabetes. También, algunos niños serán más propensos a padecer esta enfermedad dependiendo, por ejemplo, de la etnia a la que pertenecen [6].

Por otra parte, la obesidad también provoca limitaciones funcionales que afectan sobre todo a las extremidades inferiores, pudiendo influir negativamente a la biomecánica de las actividades de la vida diaria de la persona que la sufre, siendo capaz de producirle lesiones músculo-esqueléticas como la osteoartritis o problemas ortopédicos como pies planos [6, 12, 13]. La principal actividad aeróbica que se realiza en la vida diaria es la locomoción [Apéndice A]. La obesidad puede provocar modificaciones en los patrones de la marcha. Asimismo, cuanto más tiempo se padezca obesidad, mayores serán las dificultades que presentará el individuo a la hora de moverse [14].

Una adecuada combinación de dieta y ejercicio desde la infancia es primordial, al ser los métodos de control de peso con un mayor impacto positivo. Esto incluye la marcha como tratamiento para reducir el peso y, de esta manera, poder prevenir posteriores problemas biomecánicos, siempre que no se acentúen sus lesiones o se provoquen otras nuevas, por lo que será necesario un examen de la marcha antes de establecer este tipo de tratamiento.

1.3 Estado del arte

¿Cómo afecta la obesidad a la biomecánica de la marcha? Gracias a los estudios previos en el campo de investigación de la locomoción en personas obesas, podemos hacernos una idea de las complicaciones que puede acarrear esta enfermedad a través de las alteraciones que presentan en la marcha. Así, en la presente sección se describirán los resultados relevantes al llevar a cabo una revisión del estado del arte respecto a la obesidad y la marcha en personas obesas.

1.3.1 Análisis de la marcha en adultos con obesidad

Panagiotis Spyropoulos et al. [15] llevaron a cabo estudios de marcha en 12 adultos obesos y 9 no obesos, mediante la colocación en puntos anatómicos específicos de una cinta adhesiva negra con un círculo blanco en el centro, junto con un sistema de tres cámaras de cine de alta velocidad. Estos estudios mostraron que había cambios en los parámetros témporo-espaciales de los adultos con obesidad. Específicamente, la velocidad de la marcha, longitud de la zancada, cadencia y fase de balanceo, en porcentaje de tiempo de ciclo, disminuyeron respecto a los adultos de peso normal; sin embargo, la anchura de paso y la fase de apoyo, en porcentaje de tiempo de ciclo, aumentaron. También realizaron una investigación sobre los valores medios de los desplazamientos angulares en la cadera, rodilla y tobillo en el plano sagital, obteniendo patrones muy similares. Aunque se observaron algunas diferencias significativas en las dimensiones de dichos valores entre ambos grupos de participantes: mayor abducción de cadera, menor flexión plantar y mayor dorsiflexión a lo largo de todo el ciclo de marcha, para los participantes obesos. Estos autores concluyeron que todas las diferencias fueron debidas mayormente a que las personas obesas intentaban apoyar el pie lo antes posible en el suelo para mantener mejor el equilibrio, y a un exceso de tejido adiposo acumulado en los muslos.

Paul DeVita y Tibor Hortobágyi [16] realizaron una investigación sobre la cinemática del miembro inferior de 21 adultos obesos y 18 no obesos a partir de una cámara de vídeo y una serie de marcadores reflectantes. Sus resultados mostraron que en el plano sagital de la cadera, rodilla y tobillo, los valores angulares medios fueron significativamente diferentes entre adultos obesos y no obesos: mayor extensión de cadera y flexión plantar, y menor flexión de rodilla durante toda la fase de apoyo para el grupo de adultos con obesidad. Esto se opone a las conclusiones del estudio de Spyropoulos et al. [15], donde se hablaba de valores angulares no significativos de la flexión de cadera y rodilla, y menor flexión plantar durante toda la fase de apoyo. DeVita y Hortobágyi concluyeron que los sujetos con obesidad sostuvieron una posición más erguida a lo largo de la fase de apoyo. Las características témporo-espaciales obtenidas, sin embargo, son acordes con las del estudio anterior [15].

Raymond C. Browning y Rodger Kram [17] llevaron a cabo un estudio en 10 adultos obesos y 10 no obesos, utilizando sensores colocados en los pies, junto con cámaras de alta velocidad que capturaban la trayectoria de marcadores reflectantes colocados en la pierna derecha mientras caminaban por una cinta de andar. Estos estudios determinaron los valores angulares en la fase de apoyo medio, de las articulaciones de la extremidad inferior en el plano sagital. A diferencia de los estudios de Spyropoulos et al. [15] y de DeVita y Hortobágyi [16], Browning y Kram no obtuvieron discrepancias significativas entre grupos. También calcularon algunos parámetros témporo-espaciales de la marcha y no obtuvieron diferencias dignas de considerar entre ambos grupos para la longitud ni la frecuencia de la zancada. Esto tampoco se corresponde con los resultados de los estudios anteriores [15, 16]. Todas estas diferencias entre estudios podrían atribuirse a que los participantes con obesidad de los estudios anteriores intentaron, al presentar niveles excesivos de obesidad, adecuar su marcha aún más, mejorando su estabilidad al evitar posibles caídas por pérdidas de equilibrio o reduciendo las cargas que podrían presentar en las rodillas. Además, los primeros estudios se realizaron sobre una superficie normal y no sobre una cinta de andar. También podría haberse debido a la edad de los adultos obesos considerados en los estudios, más jóvenes en este que en los anteriores, por lo que podrían haber sido más activos físicamente, lo que mejoraría tanto la velocidad al caminar como la cinemática, explicando que no se obtuvieran diferencias significativas para estos parámetros. Sin embargo, el resto de parámetros concuerdan con los primeros estudios, es decir, los adultos con obesidad invirtieron considerablemente mayor tiempo en la fase de apoyo del pie y menor tiempo en la fase de oscilación, y presentaron una mayor

anchura de paso y periodo de doble soporte que los adultos de peso normal.

1.3.2 Análisis de la marcha en adolescentes con obesidad

La cinemática de la articulación de la rodilla en 3D fue cuantificada en el estudio presentado por David L. Gushue et al. [18]. Este estudio se realizó a 10 adolescentes obesos y 12 de peso normal, mediante la colocación de estructuras consistentes en 3 diodos infrarrojos activos, en cinco segmentos corporales (pie y tibia derecha, muslo, pelvis y tronco) y la grabación a partir de un sistema óptico de análisis de movimiento de la marcha, Optotrak 320. Los adolescentes con obesidad mostraron un patrón de flexión de rodilla durante toda la fase de apoyo muy parecido al de los adolescentes no obesos. Sin embargo, obtuvieron un valor máximo de flexión de rodilla durante este ciclo significativamente menor en el grupo de adolescentes obesos, lo que concuerda con el estudio de DeVita y Hortobágyi [16].

En el estudio realizado por Janet S. Dufek et al. [19] se investigaron las características témporo-espaciales y la simetría bilateral durante la marcha de 41 adolescentes con obesidad y 70 de peso normal gracias al sistema GAITRite. Analizaron la simetría en la duración del paso, longitud del paso y tiempo de ciclo de marcha, y obtuvieron diferencias no significativas entre ambas piernas para todos ellos. La velocidad, cadencia y porcentaje de balanceo fueron significativamente menores, mientras que el porcentaje de doble soporte y anchura de paso fueron considerablemente mayores para el grupo de adolescentes obesos. El incremento de los dos últimos podría deberse a un intento por mejorar la estabilidad.

1.3.3 Análisis de la marcha en niños con obesidad

Ben McGraw et al. [20] obtuvieron las características de la marcha (porcentaje de apoyo, balanceo y doble soporte) y analizaron la estabilidad postural a partir de una base de datos que contenía la información de 10 niños obesos y 10 no obesos, siendo todos ellos varones, para evitar posibles diferencias entre géneros en los resultados. Todo ello mediante una cámara de video colocada perpendicular al plano de locomoción. Estos estudios mostraron una cadencia y fase de oscilación significativamente menores, y un periodo de doble soporte y una fase de apoyo considerablemente mayores para los niños con obesidad. Estos resultados se corresponden con los que se esperan que presente una persona que sufre de obesidad y evidencian la tentativa por mantener la estabilidad postural.

Los niños que sufren obesidad presentan, respecto a los de peso normal, un deterioro de la estabilidad debido a su exceso de peso [20]. Por tanto, será comprensible que estos niños, al igual que los adolescentes y adultos con obesidad, presentaran al caminar las características temporales mostradas en los estudios anteriormente detallados (Spyropoulos et al. [15], DeVita y Hortobágyi [16], Browning y Kram [17], Dufek et al. [19] y McGraw et al. [20]), al pasar mayor tiempo con uno o ambos pies apoyados para intentar recuperar el estado de equilibrio y evitar caídas. La mayor inestabilidad podría ser causa, también, de una disminución de la actividad física en los niños obesos, ya que tienen miedo a perder el equilibrio y caerse, por lo que intentan evitarlo de este modo.

En el estudio llevado a cabo por Julia Nantel et al. [21] sobre 10 niños con obesidad y 10 niños con peso normal, utilizando un sistema Vicon equipado con 8 cámaras se calcularon los parámetros témporo-espaciales de la marcha. En él no se obtuvieron diferencias significativas entre grupos para la cadencia, longitud de la zancada ni velocidad de la marcha. Estos parámetros concuerdan con los obtenidos en el estudio de Browning y Kram [17], pero no con los resultados de los estudios de Spyropoulos et al. [15] y DeVita y Hortobágyi [16]. Tampoco se obtuvieron diferencias relevantes para la fase de apoyo ni para la fase de doble soporte, lo que no coincide con los estudios [15-17]. Esto podría deberse a que, a diferencia de los adultos obesos de estos estudios, algunos de los niños obesos realizaban actividades físicas regularmente. Estos niños no necesitarían tener el mayor tiempo posible el pie apoyado en el suelo, caminarían más rápido, realizarían pasos de mayor longitud y tendrían menos problemas de equilibrio, lo que demuestra que practicar ejercicio físico de forma usual mejora las características de la marcha.

A partir del análisis sobre la cinemática triplanar de los ángulos de las articulaciones de la cadera, rodilla y tobillo llevado a cabo por Sarah P. Shultz et al. [22] realizado por 10 niños con obesidad y 10 con peso normal, utilizando un sistema Vicon de 5 cámaras, se obtuvo, al igual que en el estudio de Browning y Kram [17], que no existían diferencias relevantes entre ambos grupos de participantes. Por lo que estos resultados contradicen también aquellos de los estudios de Spyropoulos et al. [15], DeVita y Hortobágyi [16] y Gushue et al. [18], pero en este caso, se puede atribuir además a que se utilizaron diferentes sistemas de captura, ya que el sistema Vicon proporciona una mayor precisión.

En el estudio de Anderson [23] se realizó un análisis de la marcha con 47 niños mediante un sistema Vicon equipado con 8 cámaras. La velocidad de la marcha obtenida para los niños con obesidad fue un poco mayor a la de los niños con normopeso, lo que lleva a que la cadencia sea mayor. Estos resultados contradicen

los de Spyropoulos et al. [15], DeVita y Hortobágyi [16] y Dufek et al. [19]. Sin embargo, la longitud de la zancada es menor, lo que no concuerda con una velocidad mayor. Anderson indicó que esto pudo ser porque los sujetos presentaron una marcha condicionada, al saber de la realización de la prueba o por a la escasa muestra bajo estudio.

1.4 Justificación del estudio

La mayor parte de los estudios analizados en la sección anterior han indicado que la obesidad ocasiona alteraciones en la marcha. Por ello, y con el objetivo de proporcionar una comprensión más clara de los problemas de movimiento que presentan las personas con obesidad, es de gran ayuda considerar las características de su marcha (marcha alterada) para analizar las diferencias respecto a las personas de peso normal (marcha considerada normal). Asimismo, un estudio de la marcha en personas con obesidad podría ofrecer algunos beneficios en cuanto a la reducción de factores de riesgo, sobre todo en la extremidad inferior, mejorando los regímenes de entrenamiento, la rehabilitación y los programas de prevención de lesiones.

De esta revisión realizada de la literatura previa también se observa que muchos de estos estudios sobre las limitaciones biomecánicas que conlleva la obesidad se basaron en personas adultas y que existen pocos estudios sobre la cinemática angular de la marcha de niños y adolescentes con obesidad, con un único estudio conocido para ambos. También hay pocos estudios de los parámetros témporo-espaciales de la marcha en adolescentes. Sin embargo, una evaluación de la marcha en la niñez o adolescencia ayudaría a evitar posteriores problemas o retrasar la aparición de los mismos.

Además, la mayoría de estos estudios tratan sobre los ángulos de movimiento de la extremidad inferior en el plano sagital y no contemplan la movilidad de la pelvis, sino solamente el movimiento de las articulaciones de la cadera, rodilla y tobillo.

Por último, destacar que los datos obtenidos en cada uno de estos estudios fueron muy dispares, debido a que hay muchos factores que pueden influir en la marcha, como la edad de la población bajo estudio, los métodos utilizados, la condición física de los participantes, el tiempo que los participantes llevan siendo obesos, etc.

Por todo ello, se consideró de interés realizar un estudio sobre la marcha de adolescentes de peso normal y con obesidad, con motivo de caracterizar

las diferencias existentes entre ambos en los parámetros témporo-espaciales y cinemática angular derivados de la marcha.

Estos resultados de la literatura nos han servido también para establecer una hipótesis de trabajo:

La obesidad en la adolescencia modifica los valores considerados normales en el análisis de las características de la marcha.

1.5 Objetivos

El objetivo principal de este TFM es valorar las modificaciones de las características de la marcha asociadas a la obesidad en adolescentes, comparando un grupo de adolescentes con obesidad y un grupo control con normopeso.

Los objetivos específicos de este TFM son:

- ◇ Analizar los parámetros témporo-espaciales de la marcha en un grupo de adolescentes con obesidad, comparando las variables análogas con un grupo control.
- ◇ Analizar la cinemática angular del miembro inferior tanto en el mantenimiento de la postura en bipedestación como durante la marcha, en un grupo de adolescentes con obesidad, comparando las variables análogas con un grupo control.

1.6 Resumen del capítulo

La obesidad es una enfermedad crónica que puede provocar importantes problemas de salud. Un diagnóstico de la obesidad ya durante la infancia o adolescencia podría evitar que estas personas fueran obesas al alcanzar la edad adulta y prevenir muchos de los problemas que conlleva esta enfermedad y que se manifiestan sobre todo a una edad adulta.

Es importante realizar un análisis de la marcha en personas con obesidad, al haber mayoría de estudios en la literatura que indicaron que la obesidad ocasionaba alteraciones en ella.

En esta literatura, también se encontraron resultados bastante diversos, debido al gran número de factores que podrían influir sobre las características de la marcha. Además, no hay casi estudios sobre la cinemática angular de la marcha de niños y adolescentes con obesidad. Tampoco hay muchos estudios de los parámetros témporo-espaciales de la marcha en adolescentes. La mayoría de estos estudios no contemplan la movilidad de la pelvis y tampoco analizan los ángulos articulares de la extremidad inferior en todos los planos anatómicos de movimiento.

Por ello, se consideró importante realizar un estudio sobre las diferencias en la marcha entre adolescentes de peso normal y con obesidad, tanto en los parámetros témporo-espaciales como en la cinemática angular.

Capítulo 2

Población y metodología

2.1 Sujetos del estudio

La población total bajo estudio fue de 20 adolescentes, 10 chicos y 10 chicas, de edades comprendidas entre los 10 y los 16 años. Se formaron dos grupos de adolescentes:

- ◇ **Grupo control:** formado por 10 adolescentes con obesidad (5 chicos y 5 chicas). Su captación se realizó por medio de la Doctora Gloria Bueno, cuya consulta se encuentra en el Hospital Clínico Universitario Lozano Blesa de Zaragoza.
- ◇ **Grupo obesidad:** formado por 10 adolescentes de peso normal (5 chicos y 5 chicas). Su captación se realizó a través de dos profesores de la Universidad de Zaragoza.

Este estudio se trata, por tanto, de un estudio piloto, al ser reducido el tamaño de la muestra considerada.

La participación de todos ellos en el estudio fue de forma totalmente voluntaria. Además, se informó a los padres o tutores legales de los adolescentes del motivo de realización del estudio y de las fases en que iba a consistir. Seguidamente, firmaron un consentimiento informado, al tratarse menores de edad.

Además, decir que la población de adolescentes bajo estudio no debía presentar ninguna patología que les influyera a la hora de caminar, como una lesión músculo-esquelética, problema ortopédico sufrido en la extremidad inferior poco antes del estudio o algún problema neurológico, de lo contrario serían excluidos del estudio.

De este modo, se evitaron posibles confusiones de patrones anormales en la marcha de los adolescentes causados por otros efectos que no fuesen la obesidad.

Por último, se corroboró que la clasificación de los adolescentes en cada uno de los dos grupos fue correcta mediante las gráficas de BMI-for-age facilitadas por la OMS para la medida del sobrepeso y obesidad en niños y niñas de hasta 19 años [Apéndice B].

2.2 Método y materiales

2.2.1 Sistema experimental

Para realizar un análisis del modo de caminar, se utilizan los llamados sistemas de captura y análisis de movimiento humano, también conocidos por su equivalente inglés Motion Capture Systems (MoCap Systems). Estos sistemas recrean fácilmente movimientos complejos, tales como la locomoción, de manera muy precisa, realista y rápida. Por ello, estos procedimientos son utilizados con el propósito de adquirir los patrones de marcha que presentan las personas con obesidad para, de este modo, compararlos con los patrones considerados normales¹.

A lo largo de los años, han ido surgiendo distintas tecnologías para realizar estudios de la marcha, fruto de la necesidad de obtener mayor precisión y fiabilidad en los resultados [24]. Por esta razón, actualmente disponemos de un amplio espectro de distintos sistemas de captura y análisis de movimiento humano para realizar este tipo de estudios. Estos sistemas permiten trasladar el movimiento, de la persona bajo estudio (actor), a un modelo biomecánico tridimensional (3D). A partir del análisis de este modelo se podrán obtener, en los tres planos del espacio, los parámetros cinemáticos (posiciones, velocidades, valores angulares, aceleraciones,...) característicos del movimiento que serán considerados en los diversos estudios.

Además, estos sistemas están siendo cada vez más utilizados, no sólo en el área de la biomedicina, sino también en una gran variedad de campos, como en videojuegos, cinematografía, valoraciones de capacidad funcional, etc.

Los sistemas de captura y análisis clínico de la marcha, existentes hasta la fecha, se pueden clasificar en sistemas: mecánicos, magnéticos, con sensores inerciales, ópticos e híbridos [24]. No hemos considerado oportuno adentrarnos en

¹Patrones obtenidos a través de la marcha de personas no obesas y sin ningún otro tipo de problema que pudiera afectar la locomoción.

una explicación del funcionamiento ni de las propiedades de dichos sistemas, ya que se pueden encontrar bien detallados en otros estudios [24].

No obstante, veremos el sistema utilizado en el presente TFM, esto es, el sistema VICON: sistema óptico de captura y análisis del movimiento humano en 3D. Para reproducir el movimiento utiliza 6 cámaras de infrarrojos y marcadores pasivos retro-reflectantes colocados en puntos específicos del cuerpo (Figura 2.1).



Figura 2.1: Cámara VICON y marcador pasivo retro-reflectante.

Además, el sistema utilizado se compone de un ordenador con un software específico (Workstation PC, BodyBuilder y Polygon [Apéndice C]), una datastation, una cámara de video digital, un calibrador estático y otro dinámico, y una plataforma de fuerzas. En el Workstation PC, se realizan una serie de pasos hasta obtener los datos deseados para su posterior análisis clínico. Estos pasos se detallan en la siguiente sección.

Este sistema se muestra en mayor profundidad en el [Apéndice D].

En general, estos sistemas ópticos de captura de movimiento son los métodos más fiables para capturar determinados movimientos, entre ellos la marcha. Además, permiten grabación en tiempo real, abarcan grandes áreas de captura y permiten gran libertad de movimiento a los actores. Sin embargo, tienen ciertas limitaciones, por ejemplo se pueden producir oclusiones de marcadores durante el movimiento, se necesita disponer de un hardware y un software específico para la obtención y el procesamiento de los datos, no es portable y se trata de uno de los sistemas más costosos.

En este TFM, el sistema Vicon fue utilizado, principalmente, para describir las diferentes características de la marcha (cadencia, longitud del paso, ángulos

articulares,...) y realizar una comparación entre adolescentes con normopeso y con obesidad.

2.2.2 Descripción del método: Pasos

Los pasos realizados para la captura de la marcha de todos los participantes y la obtención de los datos a analizar se enumeran a continuación. La explicación de los mismos se realiza en detalle en el [Apéndice D].

1. Posicionamiento y orientación de las cámaras para capturar el área de trabajo necesaria para realizar las pruebas del estudio.
2. Calibración del sistema de cámaras tanto para fijar el origen y sistema de referencia global de coordenadas como para calcular la orientación y posición de cada cámara en relación al resto: calibración estática y dinámica.
3. Realización de las pruebas de validación [Apéndice E], como entrenamiento en la colocación de los marcadores.

Los siguientes pasos se realizaron para cada una de las sesiones de captura:

4. Calibración estática y dinámica justo antes del inicio de las pruebas.
5. Llegada del adolescente al Laboratorio de Biomecánica: breve explicación de las pruebas, entrega del protocolo seguido [Apéndice F] y firma del consentimiento informado por el acompañante responsable del participante [Apéndice G].
6. Cambio de indumentaria: bañador o pantalón corto y camiseta ajustados.
7. Mediciones antropométricas: anchura de los tobillos y de las rodillas, longitud de los miembros inferiores, altura y peso. Mediante un calibre, una cinta métrica, un tallímetro y una plataforma de fuerzas, respectivamente.
8. Cumplimentación de la ficha de recogida de datos [Apéndice H]: características descriptivas del paciente, mediciones antropométricas, observaciones, etc.
9. Colocación de los marcadores según el modelo 'Plug-In-Gait'.

10. Realización de las pruebas:

- a. Estática (1 prueba):* se realizó la filmación del adolescente en posición de bipedestación estática durante 3 s.
- b. Dinámicas (5 pruebas):* se realizó la filmación del adolescente durante la marcha a lo largo de un pasillo de 8 m de longitud. Se realizaron varias filmaciones hasta obtener al menos 5 registros de marcha válidos.

El tiempo medio de la preparación y recogida de los datos de cada sujeto varió entre 45-60 minutos.

Al finalizar todas las sesiones de captura se realizaron los siguientes pasos:

- 11. Almacenaje de la información proporcionada por el sistema para crear una base de datos.
- 12. Procesado de las pruebas capturadas:

- a. Estática:* Etiquetado marcadores y generación del esqueleto interno. Este procesado permitió hallar los valores angulares correspondientes a la posición en bipedestación estática de la pelvis y articulaciones de los miembros inferiores, cadera, rodilla y tobillo, en los tres planos anatómicos de movimiento.
- b. Dinámicas:* reconstrucción de las trayectorias perdidas y detección de eventos (división del ciclo de marcha en fase de apoyo y fase de oscilación). Durante la marcha, los miembros inferiores y la pelvis realizan una serie de movimientos importantes, en los tres planos anatómicos. Gracias a este procesado se pudieron obtener las gráficas y valores angulares correspondientes a estos movimientos durante la fase de apoyo de la marcha. También se obtuvieron los parámetros témporo-espaciales que caracterizan la marcha, estos son: la velocidad de la marcha, longitud, duración y anchura del paso, cadencia, tiempo de ciclo y tiempo de apoyo porcentual.

Para la obtención de todos estos valores descriptivos de la marcha se utilizaron las herramientas Polygon, Microsoft Excel y Matlab.

2.3 Variables del estudio

Las variables que se analizaron durante el desarrollo del TFM se encuentran a continuación:

- ◇ Variables de las características descriptivas de los sujetos de estudio:
 - Género: chico/chica.
 - Edad: 10-16 años.
 - Peso: 35-76.7 kg.
 - Altura: 1.49-1.76m.
 - Índice de masa corporal: 15.77-30.34 kg/m².
 - Miembro inferior dominante: en todos fue el derecho.

- ◇ Variables obtenidas de las pruebas **estáticas** realizadas con el sistema Vicon:
 - Pelvis anteversión/retroversión: valor angular de la posición de la pelvis en el plano sagital.
 - Pelvis inclinación derecha/izquierda: valor angular de la posición de la pelvis en el plano frontal.
 - Pelvis rotación interna/externa: valor angular de la posición de la pelvis en el plano transverso.
 - Cadera flexión/extensión: valor angular de la posición de la cadera en el plano sagital.
 - Cadera aducción/abducción: valor angular de la posición de la cadera en el plano frontal.
 - Cadera rotación interna/externa: valor angular de la posición de la cadera en el plano transverso.
 - Rodilla flexión/extensión: valor angular de la posición de la rodilla en el plano sagital.
 - Rodilla aducción/abducción: valor angular de la posición de la rodilla en el plano frontal.
 - Rodilla rotación interna/externa: valor angular de la posición de la rodilla en el plano transverso.

- Tobillo flexión dorsal/flexión plantar: valor angular de la posición del tobillo en el plano sagital.
- Tobillo inversión/eversión: valor angular de la posición del tobillo en el plano frontal.
- Tobillo rotación interna/externa: valor angular de la posición del tobillo en el plano transverso.
- ◇ Variables obtenidas de las pruebas **dinámicas de marcha** realizadas con el sistema Vicon:
 - Parámetros cinemáticos, en el ciclo de apoyo:
 - Pelvis anteversión/retroversión: máximo/ mínimo valor angular de movimiento de la pelvis en el plano sagital.
 - Pelvis inclinación derecha/izquierda: máximo/mínimo valor angular de movimiento de la pelvis en el plano frontal.
 - Pelvis rotación anterior/posterior: máximo/mínimo valor angular de movimiento de la pelvis en el plano transverso.
 - Cadera flexión/extensión: máximo/mínimo valor angular de movimiento de la cadera en el plano sagital.
 - Cadera aducción/abducción: máximo/mínimo valor angular de movimiento de la cadera en el plano frontal.
 - Cadera rotación interna/externa: máximo/mínimo valor angular de movimiento de la cadera en el plano transverso.
 - Rodilla flexión/extensión: máximo/mínimo valor angular de movimiento de la rodilla en el plano sagital.
 - Rodilla aducción/abducción: máximo/mínimo valor angular de movimiento de la rodilla en el plano frontal.
 - Rodilla rotación interna/externa: máximo/mínimo valor angular de movimiento de la rodilla en el plano transverso.
 - Tobillo flexión dorsal/flexión plantar: máximo/mínimo valor angular de movimiento del tobillo en el plano sagital.

- Tobillo inversión/eversión: máximo/mínimo valor angular de movimiento del tobillo en el plano frontal.
- Tobillo rotación interna/externa: máximo/mínimo valor angular de movimiento del tobillo en el plano transversal.
- Parámetros temporales: valores medios de cadencia (pasos/min), duración del ciclo de marcha (s), tiempo de apoyo (% ciclo marcha) y duración del paso (s).
- Parámetros espaciales: valores medios de velocidad de la marcha (m/s), longitud y anchura del paso (m).

2.4 Estudio estadístico

El análisis estadístico se dividió en:

1. Estudio de la fiabilidad del sistema de medición Vicon.

Se realizó una evaluación, en todas las variables de la marcha analizadas, de la variabilidad obtenida para las 5 valoraciones de marcha de cada participante, a partir del Coeficiente de Correlación Intraclass. Se calculó el ICC(1,1)² con intervalos de confianza del 95 %.

El ICC nos indica la proporción de la variabilidad total que se debió a la variabilidad de los sujetos³, ya que la variabilidad total de las mediciones se descompone en la variabilidad debida a las diferencias entre los distintos sujetos y la debida a las diferencias entre las 5 pruebas de marcha de cada sujeto.

2. Cálculo de la media y la desviación estándar de todas las variables del estudio.
3. Normalidad de los datos.

Mediante el programa estadístico Minitab se comprobó la normalidad de todas las variables calculadas. Cuando la distribución de los datos fue normal, se utilizó la prueba de comparación de las medias para muestras

²ICC (1,1) es un tipo de ICC que realiza un análisis de la varianza de un factor (One-way ANOVA): pruebas, y donde interviene un único evaluador.

³Los valores del ICC pueden oscilar entre 0 y 1, de modo que la máxima concordancia posible entre pruebas se corresponde a un valor de 1. En este caso, toda la variabilidad observada se explicaría por las diferencias entre sujetos y no por las diferencias entre las pruebas.

independientes, esto es el test-T. Sin embargo, cuando no cumplían el criterio de normalidad se utilizó la prueba de Mann-Whitney-Wilcoxon.

Todas las comparaciones siguientes se realizaron con uno de estos dos test dependiendo de si los datos fueron normales o no⁴.

4. Estudio de la simetría entre miembros inferiores. Comparación de todas las variables de la marcha obtenidas en cada uno de los dos grupos de estudio entre el miembro inferior izquierdo y el derecho.
5. Comparación de todos los parámetros de la marcha obtenidos en cada uno de los grupos entre chicos y chicas.
6. Comparación de las características descriptivas de los grupos de estudio.
7. Comparación de todos los parámetros témporo-espaciales y cinemáticos entre ambos grupos de estudio.

Para realizar el análisis estadístico de los datos se estableció un nivel de significación estadística de $p < 0.05$ (5%), lo que significa que si $p < 0.05$ se rechaza la hipótesis nula (hipótesis falsa). Cuanto menor sea el valor p , más probable será que la hipótesis de partida sea falsa.

⁴A partir de la desviación estándar de los parámetros, también es posible conocer si las diferencias son significativas o no, por ejemplo, si para un parámetro la mayoría de sus valores para un grupo son iguales a la mayoría de los valores del otro grupo, entonces, significa que la diferencia no es estadísticamente significativa. Pero el test-T o de Wilcoxon son más fiables.

2.5 Resumen del capítulo

Se contó con la participación voluntaria de dos grupos de participantes formados cada uno de ellos por 10 adolescentes (5 chicas y 5 chicos) de edades entre 10-16 años. Se informó brevemente sobre las pruebas y el acompañante mayor de edad firmó el consentimiento informado.

En la realización del estudio, se utilizó el sistema óptico de captura y análisis de movimiento Vicon para la captura de la marcha de todos los participantes y la obtención de los datos deseados. Para lo cual se realizaron una serie de pasos, comenzando por la colocación y orientación de las cámaras, pasando por la calibración del sistema y la realización de las pruebas de marcha siguiendo el protocolo establecido, hasta llegar, por último, al procesado de estas pruebas para la obtención de los valores medios de las variables témporo-espaciales y angulares.

A través del ICC de todas las variables obtenidas durante las pruebas de marcha se analizó la fiabilidad del sistema de medición en la obtención de los mismos resultados al realizar cada sujeto las pruebas dinámicas 5 veces.

A la hora de determinar la significancia estadística de los datos obtenidos cuando se realizaron las comparaciones entre los miembros inferiores, géneros o grupos de estudio, se efectuó un test-T o de Wilcoxon Mann-Whitney, dependiendo de la normalidad de la variable. El nivel de significancia se estableció en 0.05.

Capítulo 3

Resultados y discusión

En un intento de conocer mejor las características en cuanto a la movilidad que pueden presentar los adolescentes con obesidad durante la marcha, se calcularon los parámetros témporo-espaciales y los ángulos de movimiento de la pelvis y de las articulaciones de las extremidades inferiores a través del sistema óptico Vicon. Así, este sistema se utilizó, principalmente, para comparar la marcha de adolescentes de peso normal con la marcha de adolescentes con obesidad.

3.1 Fiabilidad

Tras realizar el cálculo del Coeficiente de Correlación Intraclase (ICC), se llevó a cabo una interpretación de los valores obtenidos, tal y como hizo Menz et al. [25] (>0.75 fiabilidad excelente, $0.40-0.75$ fiabilidad de regular a buena y <0.40 fiabilidad pobre). Así, se observó, en general, una muy buena concordancia en todos los parámetros (Figura 3.1 y Figura 3.2).

El parámetro más crítico fue el tiempo de apoyo porcentual en el grupo obesidad, cuya variabilidad fue muy alta (repetibilidad de 0.1855), pero no se tuvo demasiado en cuenta porque esta variabilidad fue pequeña (0.864) en comparación con su valor medio (60.657 %).

Dada la fiabilidad obtenida, se consideró oportuno trabajar con el promedio de las 5 pruebas de marcha.

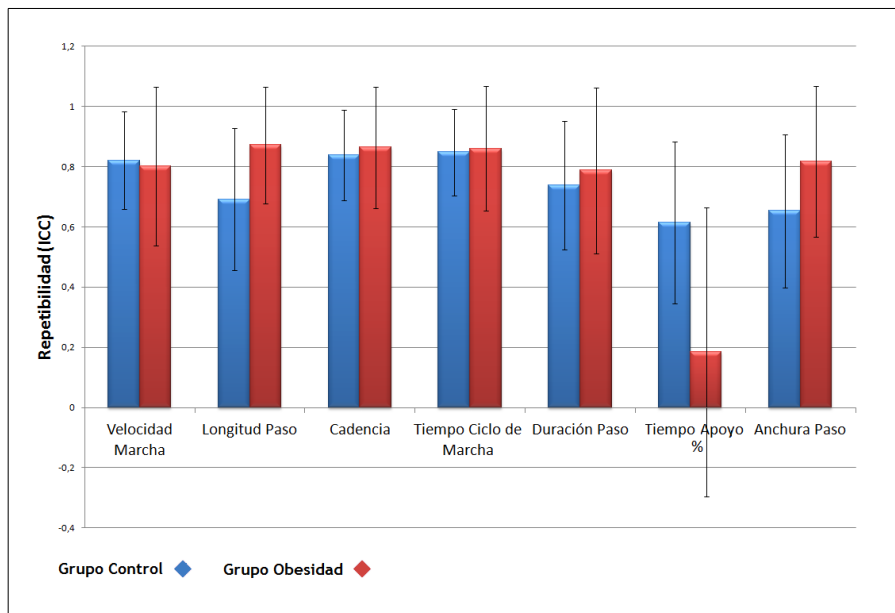


Figura 3.1: Repetibilidad para los parámetros témporo-espaciales. Grupo control/obesidad.

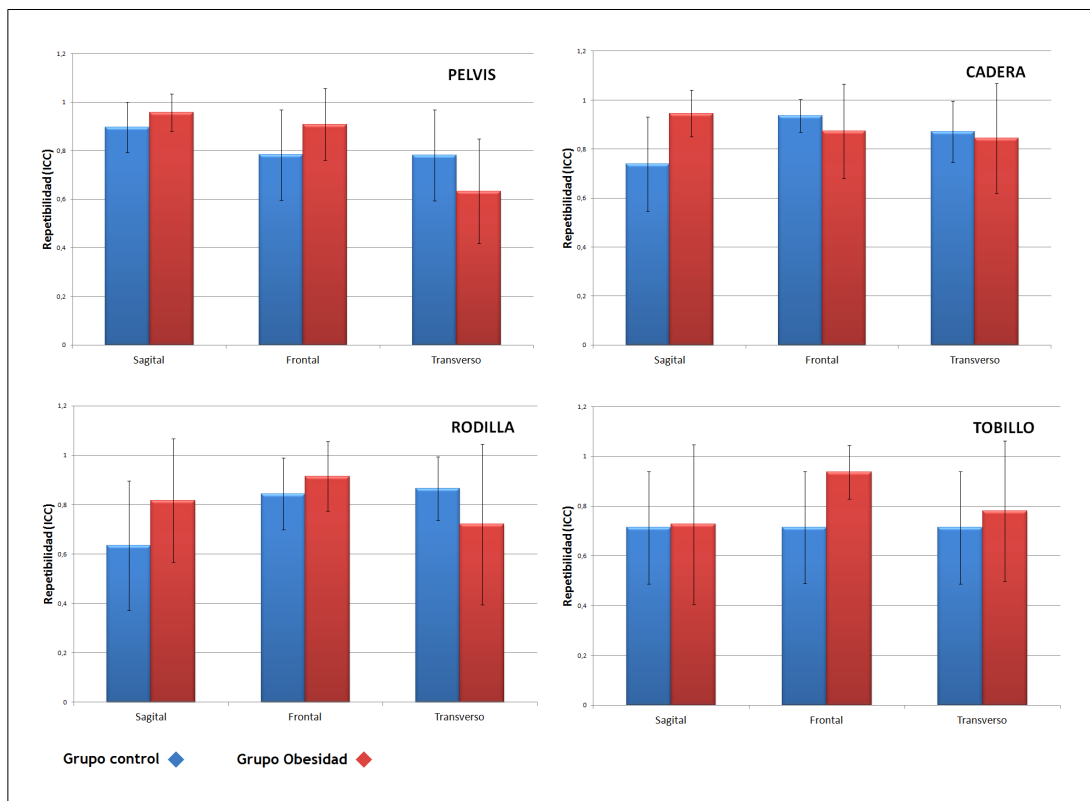


Figura 3.2: Repetibilidad para los ángulos de movimiento triplanares en la pelvis, cadera, rodilla y tobillo. Grupo control/obesidad.

3.2 Simetría entre miembros inferiores

Ninguna de las variables obtenidas presentó diferencias significativas entre los dos miembros inferiores, en ninguno de los grupos de estudio. Dufek et al. [19], en su estudio en adolescentes obesos, analizaron las diferencias en la duración y longitud del paso y tiempo de ciclo de marcha entre ambas extremidades inferiores, y obtuvieron simetría en dichos parámetros témporo-espaciales.

Por tanto, en nuestro estudio, solamente se consideraron los datos de un miembro inferior para la evaluación de las variables definidas. Al ser todos los participantes diestros, se eligió el miembro inferior derecho.

3.3 Comparación entre géneros

La comparación entre chicos y chicas del estudio no indicó diferencias significativas entre sexos, ni en el grupo de adolescentes con normopeso ni en el de adolescentes con obesidad. Como además, el número de chicas y chicos de cada grupo fue muy escaso, no se consideró necesario realizar dicha distinción por géneros, de forma que se consideró oportuno trabajar con ambos grupos de estudio sin distinguir entre chicos y chicas.

3.4 Características descriptivas

Al analizar las características descriptivas de los dos grupos estudiados (Tabla 3.1), no se observan diferencias ni en la edad ni en la altura de los adolescentes estudiados, lo que indica una homogeneidad de las dos muestras y que se pueda llevar a cabo la comparación.

En cuanto al peso corporal, uno de los parámetros que debía diferenciar los dos grupos, sí que se observó un valor medio mucho mayor en el grupo obesidad (aprox. 12 kg), pero esta diferencia entre grupos no llegó a ser significativa ($p=0.0757$), aunque sí cuasi-significativa. Esto podría deberse a la importante variabilidad que había en cada grupo y al reducido tamaño de la muestra estudiada. Sin embargo, el índice de masa corporal fue significativamente mayor en el grupo obesidad ($p=0.0003$), lo que indicó especificidad de los dos grupos.

Grupo	Edad(años)	Peso(kg)	Altura(m)	IMC(kg/m²)
Control	13.222 (1.302)	54.865 (10.769)	1.648 (0.091)	19.999 (2.332)
Obesidad	11.750 (0.957)	66.850 (8.412)	1.568 (0.052)	27.134 (2.195)
Valor p	0.0693	0.0757	0.1286	0.0003*

Asterisco $p < 0.05$.

Tabla 3.1: Características descriptivas para el grupo control y obesidad; media (StD) y valores p.

3.5 Grupo control

Como punto de partida de este estudio, se hizo necesario contrastar los datos obtenidos en el grupo control con los que se han aportado en la literatura para determinar si los valores obtenidos se encontraban dentro de los rangos considerados normales por la comunidad científica.

En cuanto a los parámetros témporo-espaciales (Tabla 3.2), los adolescentes de este grupo caminaron con una velocidad libre de marcha de 1.24 m/s. Esta velocidad fue ligeramente menor a la descrita por Dufek et al. [19] en su estudio realizado también con adolescentes. Probablemente, esto se debió a que los adolescentes del estudio de Dufek presentaban una mayor destreza al caminar ya que dentro de las actividades físicas realizaban pruebas de marcha en el colegio. Comparando esta velocidad con la obtenida en otros estudios en niños [21, 23] y adultos [15, 16, 26], se observó que esta velocidad se encontraba en una situación intermedia, por tanto, parece que la velocidad va aumentando con la edad, volviendo a disminuir al alcanzar la vejez tal y como indica Villar et al. [27] en su estudio sobre los efectos de la edad en la marcha. Esta menor velocidad justifica la menor longitud de paso y cadencia encontrada respecto a los estudios citados con adolescentes y adultos. El resto de parámetros témporo-espaciales se encontraban dentro de lo descrito normalmente en la bibliografía.

En cuanto a la cinemática angular de la marcha, el patrón de marcha observado (Figura 3.3) fue similar al descrito en la mayoría de los trabajos realizados sobre el tema [15-18, 22]. Las variables obtenidas (Figura 3.4) se encontraron dentro de los valores aportados en la literatura científica, tanto en estudios en adolescentes [18], como en estudios en adultos [15-17]. Hay que tener en cuenta que a partir de los 7 años las características de la marcha deben ser las mismas que las de una persona de edad adulta [28-30], salvo aquellos parámetros relacionados con los datos antropométricos.

Por todo esto, se consideró que el grupo control servía como referencia para

comparar con el grupo obesidad.

Variable	Media (StD)
Cadencia (pasos/min)	114.819 (6.121)
Ciclo marcha (s)	1.048 (0.056)
Tiempo apoyo (%)	58.813 (1.208)
Tiempo paso (s)	0.524 (0.028)
Longitud paso (m)	0.635 (0.034)
Anchura paso (m)	0.115 (0.030)
Velocidad marcha (m/s)	1.248 (0.101)

Tabla 3.2: Parámetros témporo-espaciales para el grupo control; media (StD)

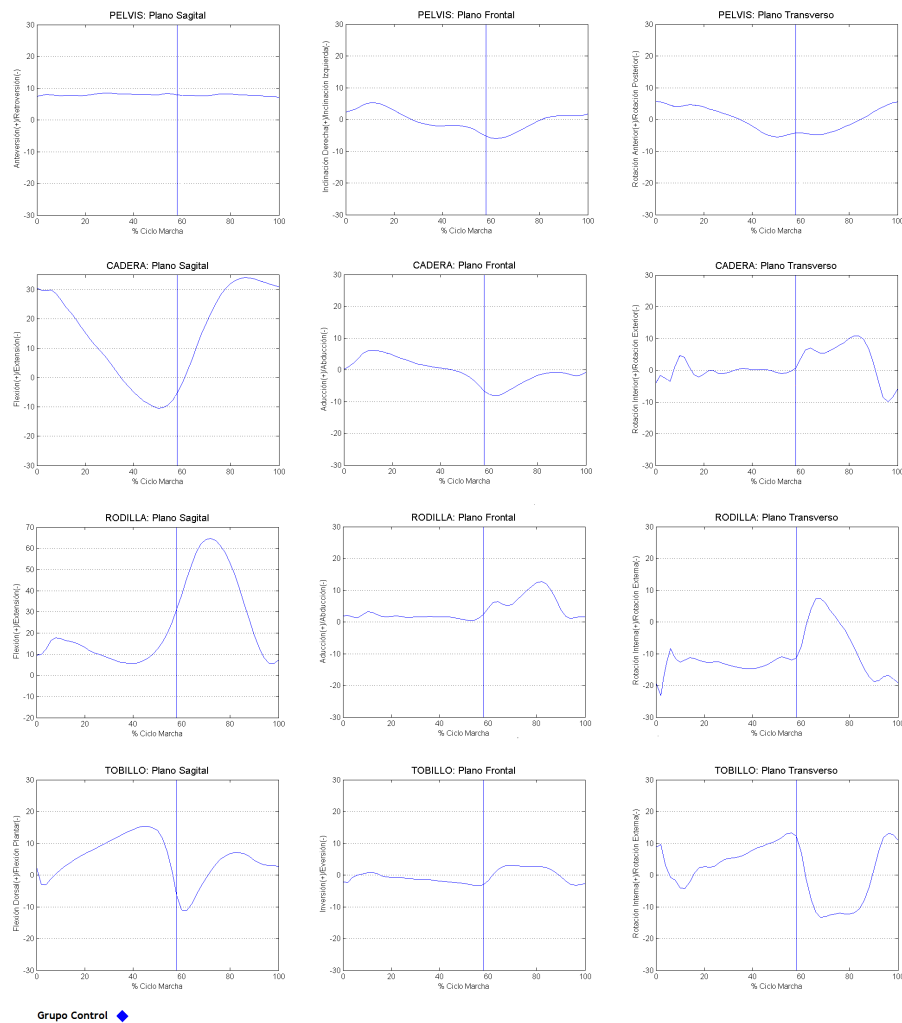


Figura 3.3: Desplazamientos angulares medios ($^{\circ}$) durante la marcha del grupo control.

26 3.6. Comparación entre grupos de adolescentes con normopeso y con obesidad

Pelvis	Media (StD)	Cadera	Media (StD)
Anteversión	8.986(2.417)	Flexión	30.824(2.886)
Retroversión	6.805(2.975)	Extensión	-10.539(4.307)
Inclinación Derecha	5.317(1.770)	Aducción	6.397(2.477)
Inclinación Izquierda	-5.267(1.872)	Abducción	-6.670(1.996)
Rotación Anterior	6.186(2.197)	Rotación Interna	7.141(7.715)
Rotación Posterior	-5.795(4.586)	Rotación Externa	-7.174(5.967)

Rodilla	Media (StD)	Tobillo	Media (StD)
Flexión	31.293(4.317)	Flexión Dorsal	15.851(2.025)
Extensión	5.839(4.051)	Flexión Plantar	-8.203(4.714)
Aducción	4.663(3.027)	Inversión	1.275(1.312)
Abducción	-0.873(1.967)	Eversión	-3.616(2.078)
Rotación Interna	-7.076(6.275)	Rotación Interna	14.639(7.343)
Rotación Externa	-23.288(8.167)	Rotación Externa	-5.988(5.484)

Figura 3.4: Picos máximos de los desplazamientos angulares ($^{\circ}$) durante la fase de apoyo del grupo control; media del máximo (StD).

3.6 Comparación entre grupos de adolescentes con normopeso y con obesidad

3.6.1 Parámetros témporo-espaciales

Los valores de los parámetros témporo-espaciales se representan en las Figura 3.5, 3.6, 3.7 y 3.8. Sus valores exactos se pueden consultar en las Tablas 3.3 y 3.4.

En primer lugar, constatamos una significativa menor velocidad de la marcha en nuestros sujetos con obesidad al compararlos con los sujetos con normopeso. Esta menor velocidad conlleva que los pasos también sean significativamente menores y, también, que la cadencia sea menor. Probablemente esto fue debido a que tienen que movilizar mayor cantidad de masa corporal y tratan de minimizar el gasto energético, y a que intentan mantener el equilibrio. De la misma forma, y relacionado también con la menor velocidad, la duración del ciclo de marcha y del paso fueron significativamente mayores en este grupo.

Llama la atención el significativamente mayor porcentaje de tiempo de apoyo respecto a la duración total del ciclo en el grupo de obesidad. Un aumento del tiempo de apoyo está relacionado con una inestabilidad en la marcha, por lo que podemos decir que este grupo de adolescentes obesos tenían una cierta inestabilidad

al caminar. En este mismo sentido, también se obtuvo una anchura de paso significativamente mayor en el grupo obesidad, para aumentar la base de apoyo y conseguir una mayor estabilidad. Esta mayor anchura del paso también puede estar relacionada con el valgo de rodilla que tienden a tener las personas con obesidad.

Dufek et al. [19] obtuvieron los mismos resultados en adolescentes con obesidad, es decir, encontraron también una menor velocidad y cadencia, y una mayor anchura de paso al comparar con adolescentes de peso normal. Igualmente McGraw et al. [20] obtuvieron al igual que en nuestro estudio una cadencia menor y una fase de apoyo mayor para los niños con obesidad. Estos dos autores expusieron que sus resultados fueron indicativos de una tentativa de los niños con obesidad de mejorar su estabilidad.

En este mismo sentido, los estudios de Spyropoulos et al. [15] y DeVita y Hortobágyi [16] en adultos con obesidad también obtuvieron los mismos resultados que nuestro estudio: velocidad, longitud de la zancada y cadencia menores; fase de apoyo (%) y anchura de paso mayores, respecto a los adultos de peso normal. Browning y Kram [17], sin embargo sólo obtuvieron una significativamente mayor fase de apoyo y anchura de paso en comparación con adultos de peso normal. Estos autores obtuvieron los mismos resultados que en nuestro estudio a pesar de las diferencias de edad de los participantes, de los distintos sistemas de medición utilizados en cada uno de estos estudios y de que el grado de obesidad de los adolescentes de nuestro estudio fue bajo, lo que se llama preobesidad (Tabla 3.1, [31]).

Sin embargo, en el estudio llevado a cabo por Nantel et al. [21] realizado en niños con obesidad y físicamente activos no se obtuvieron los mismos resultados, es decir, no se obtuvieron diferencias significativas entre grupos en ninguno de los parámetros. Esto podría deberse precisamente a que los niños estaban acostumbrados a realizar actividades físicas, lo que podría indicar que si los adolescentes con obesidad se acostumbraran a realizar ejercicio físico de forma regular podrían mejorar su marcha, de forma que irían paliando poco a poco sus problemas, como pérdidas de equilibrio, y/o se evitarían posteriores complicaciones, como los problemas musculo-esqueléticos. Esta actividad física puede ser simplemente caminar, siempre que no se acentúen sus lesiones o se provoquen otras nuevas, por lo que será necesario un cuidadoso examen de la marcha del sujeto antes de establecer este tipo de tratamiento.

En el estudio de Anderson [23] realizado en niños obesos tampoco se obtuvieron los mismos resultados que en nuestro estudio. En este caso se obtuvo una velocidad y cadencia mayores a la de los niños con normopeso. Aunque este autor indicó que

28 3.6. *Comparación entre grupos de adolescentes con normopeso y con obesidad*

estos resultados se debieron probablemente a que los niños presentaron una marcha condicionada al realizar las pruebas o a la escasa muestra considerada.

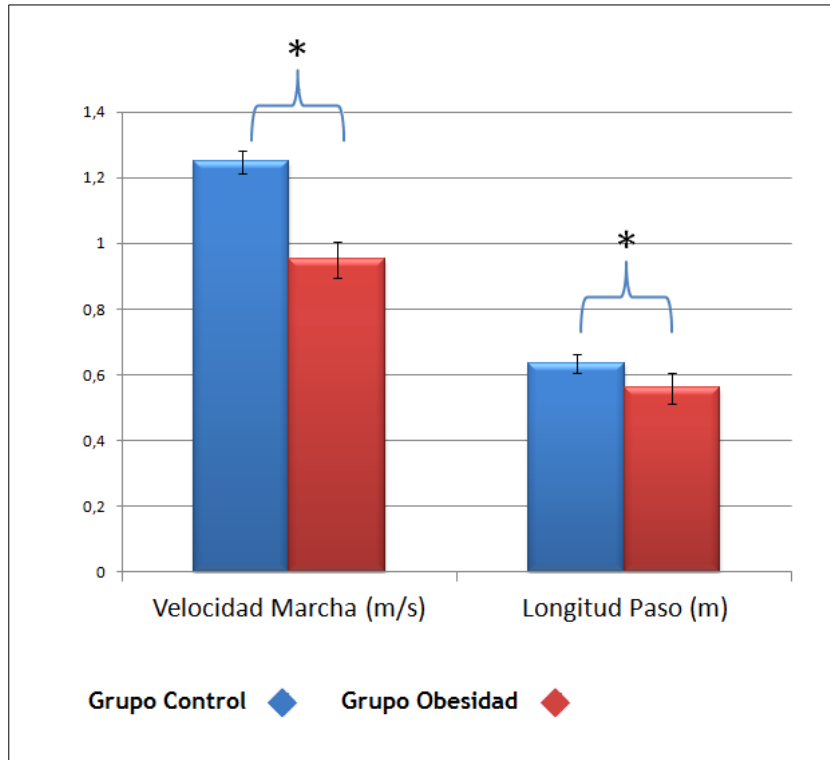


Figura 3.5: Velocidad de la marcha y longitud del paso. Grupo control/obesidad.

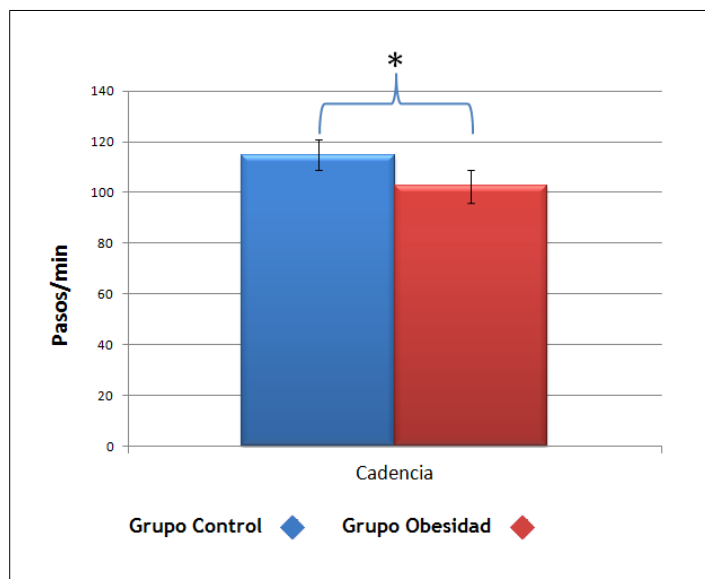


Figura 3.6: Cadencia. Grupo control/obesidad.

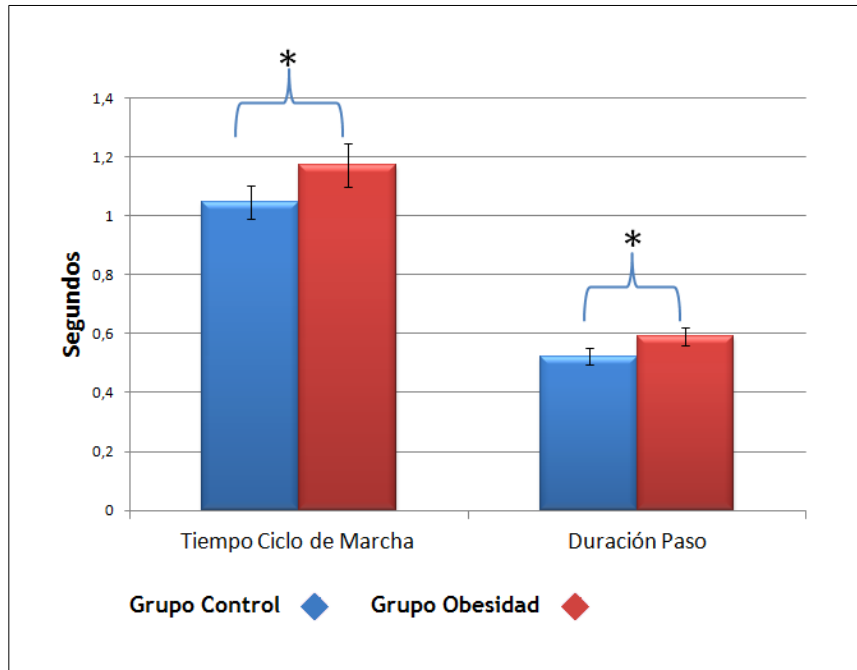


Figura 3.7: Duración ciclo de marcha y paso. Grupo control/obesidad.

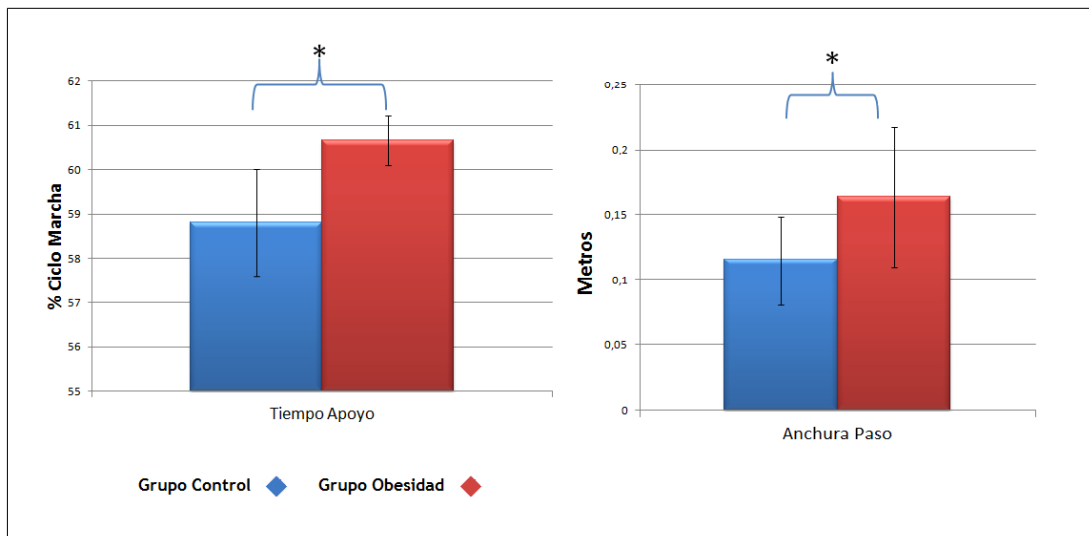


Figura 3.8: Tiempo de apoyo porcentual y Anchura del paso. Grupo control/obesidad.

30 3.6. Comparación entre grupos de adolescentes con normopeso y con obesidad

Grupo	Cadencia	Ciclo marcha	Tiempo apoyo	Tiempo paso
Control	114.819 (6.121)	1.048 (0.056)	58.813 (1.208)	0.524 (0.028)
Obesidad	102.566 (6.461)	1.174 (0.073)	60.657 (0.559)	0.591 (0.031)
Valor p	0.0073*	0.0059*	0.0153*	0.0027*

Asterisco $p < 0.05$.

Tabla 3.3: Parámetros temporales para el grupo control y obesidad; media (StD) y valores p para la cadencia (pasos/min), duración del ciclo de marcha (s), tiempo de apoyo (% del ciclo de marcha) y tiempo de paso (s).

Grupo	Velocidad marcha	Longitud paso	Anchura paso
Control	1.248 (0.101)	0.635 (0.034)	0.115 (0.030)
Obesidad	0.951 (0.055)	0.559 (0.054)	0.163 (0.048)
Valor p	0.0002*	0.0102*	0.0462*

Asterisco $p < 0.05$.

Tabla 3.4: Parámetros espaciales para el grupo control y obesidad; media (StD) y valores p para la velocidad de la marcha (m/s), longitud del paso (m), anchura del paso (m).

3.6.2 Cinemática: desplazamientos angulares

Los valores de los ángulos de movimiento triplanares se representan en las Figura 3.9. Los valores medios de las variables cinemáticas angulares, tanto estáticas como dinámicas, se pueden consultar en la Tabla 3.5 y Figuras 3.10 y 3.11.

En la Figura 3.9 se observa que el grupo de adolescentes con obesidad sigue un patrón de movimiento de la pelvis y todas las articulaciones estudiadas, similar al descrito por el grupo de adolescentes de peso normal.

Al analizar las diferencias encontradas entre grupos en la posición de bipedestación estática (Tabla 3.5) únicamente se han encontrado diferencias significativas en la inversión/eversión del tobillo, pero dado que los valores medios de esta variable en ambos grupos fueron muy pequeños, se consideró que la posición de partida de la articulación del tobillo en el plano frontal fue prácticamente neutra en ambos grupos; en el plano sagital, los valores de flexión dorsal de tobillo fueron muy similares en ambos grupos. En cuanto a la rodilla, se observó que los adolescentes del grupo obesidad presentaban una posición con una tendencia a la extensión de esta articulación, mientras que ambos grupos presentaron una ligera flexión de cadera.

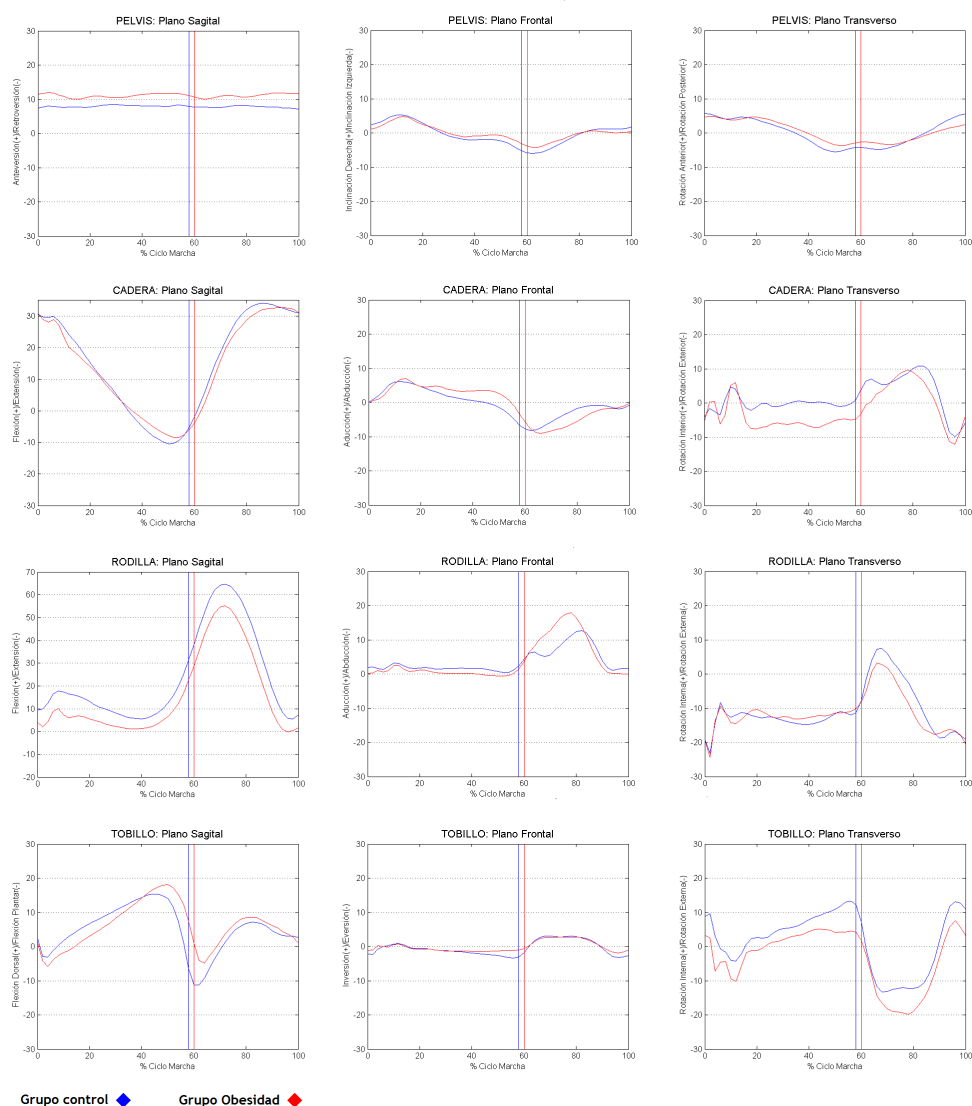


Figura 3.9: Desplazamientos angulares medios ($^{\circ}$) durante la marcha del grupo control y obesidad

Aunque no han existido diferencias significativas, los valores medios de anteversión pélvica fueron mayores en el grupo de adolescentes obesos. Muchos estudios han analizado la relación entre la posición de la pelvis y la alineación del tronco como factor importante en el diagnóstico de diversas patologías de columna [32-35]. Resulta de interés analizar el comportamiento de la pelvis en estática y dinámica como segmento bisagra entre, por un lado, las fuerzas de reacción del contacto del pie con el suelo, que se transmiten a través de la tibia y el fémur, y por otro, la acción del peso corporal. En condiciones normales, en la exploración clínica habitual, cuando no existen disimetrías, retracciones articulares o de tejidos blandos

323.6. *Comparación entre grupos de adolescentes con normopeso y con obesidad*

Estática

Variable	Grupo	Media (StD)	Valor p
Pelvis anteversión/retroversión	Control	11.918 (3.181)	0.3910
	Obesidad	13.924 (4.926)	
Pelvis inclinación derecha/izquierda	Control	0.127 (1.122)	0.1649
	Obesidad	1.301 (1.723)	
Pelvis rotación anterior/posterior	Control	-1.588 (2.651)	0.0762
	Obesidad	1.928 (3.749)	
Cadera flexión/extensión	Control	8.596 (3.970)	0.6926
	Obesidad	7.097 (9.816)	
Cadera aducción/abducción	Control	-1.213 (2.660)	0.3836
	Obesidad	0.467 (3.990)	
Cadera rotación interna/externa	Control	-0.272 (5.559)	0.4425
	Obesidad	-3.202 (7.407)	
Rodilla flexión/extensión	Control	2.491 (3.970)	0.3604
	Obesidad	-0.145 (5.955)	
Rodilla aducción/abducción	Control	1.488 (2.641)	0.1636
	Obesidad	-0.574 (0.885)	
Rodilla rotación interna/externa	Control	-18.527 (5.462)	0.1173
	Obesidad	-13.616 (2.289)	
Tobillo flexión dorsal/plantar	Control	5.754 (2.317)	0.5655
	Obesidad	6.597 (2.502)	
Tobillo inversión/eversión	Control	-2.204e-14 (1.381e-14)	0.0047*
	Obesidad	9.506e-15 (1.730e-14)	
Tobillo rotación interna/externa	Control	9.249 (5.569)	0.3111
	Obesidad	5.499 (6.632)	

Asterisco $p < 0.05$.

Tabla 3.5: Ángulos ($^{\circ}$) durante la prueba estática del grupo control y obesidad; media (StD) y valores p.

y/o desequilibrios musculares, las espinas iliacas anterosuperiores se encuentran al mismo nivel y son igual de prominentes, lo que implica que la pelvis está equilibrada en el plano frontal y transversal.

El análisis de la posición de la pelvis en el plano sagital ha suscitado un gran interés por el papel que desempeña en la alineación postural del resto del cuerpo. Nguyen et al. [36], en su estudio realizado sobre sujetos jóvenes sanos, encontraron valores de 9.4° de inclinación anterior pélvica, mientras que Assi et al. [37] obtuvieron valores de 8.1° de anteversión en niños entre 5 y 15 años de edad. Estos valores, considerados normales, están cercanos a los valores medios obtenidos en los adolescentes del grupo control, pero son ligeramente inferiores a los del grupo de obesos, lo que implica una mayor posición en anteversión

pélvica en el grupo de adolescentes obesos. Dado que el valor medio en el grupo de adolescentes con obesidad es de 13.9° tampoco es posible afirmar que el grupo de adolescentes estudiado presente una importante anteversión pélvica que a la larga pueda ser un factor predisponente para la aparición de lesiones o dolores lumbares. En todo caso, será necesario realizar una valoración individualizada de cada sujeto para poder determinar las alteraciones posturales compensatorias que se pueden producir relacionadas con el aumento de peso y volumen corporal.

La posición de la pelvis en el plano sagital desempeña un papel fundamental en el mantenimiento del equilibrio postural, ya que determina la alineación del tronco e incide, de manera importante, a través de la articulación lumbosacra en la morfología de la curvatura lumbar y del resto de las curvas vertebrales [38]. Aunque en el presente estudio no se han valorado las curvaturas vertebrales, es de interés comentar este aspecto para conocer las posibles repercusiones que pudieran darse. Son muchos los estudios realizados sobre la morfología pélvica, tanto en niños como en adultos, y en ellos se constata que los desequilibrios en la alineación en el plano sagital desde la edad infantil se consideran un factor de riesgo importante para desarrollar deformidades vertebrales y síndromes dolorosos [39]. Diversos estudios han establecido que la prevalencia de aparición de dolor lumbar en escolares está entre el 20 y el 51 %, siendo las alteraciones posturales uno de los factores de riesgo indicados [40-42].

En el análisis comparativo de la marcha, no se obtuvieron diferencias que resultaran estadísticamente significativas en los valores máximos de movilidad de la pelvis ni de las articulaciones del miembro inferior en los tres planos de movimiento articular. Estos resultados difieren de lo esperado, ya que como se ha indicado, el análisis de los parámetros témporo-espaciales sí que mostró diferencias significativas entre ambos grupos, y estos parámetros están relacionados, en cierta medida, con los desplazamientos angulares [21].

Si analizamos la movilidad articular observando las trayectorias de los desplazamientos angulares encontramos que en el grupo de adolescentes con obesidad se produce un menor flexión de las articulaciones del tobillo y la rodilla durante prácticamente toda la fase de apoyo de la marcha. En la cadera, la movilidad inicial en flexión es menor, y puede observarse una menor extensión en el momento de preoscilación o despegue.

En cuanto al movimiento pélvico durante la marcha, este tiene su origen en las caderas y representa un cambio postural continuo de escasa magnitud. Este movimiento, como indica Sánchez-Lacuesta [43], está propiciado por el movimiento del sacro, que avanza en la dirección de la progresión. En el plano sagital, la pelvis

34.3.6. Comparación entre grupos de adolescentes con normopeso y con obesidad

presentó un valor medio de mayor anteversión en el grupo de adolescentes obesos, con un rango de movilidad similar a los 3°-5° que se describen como valores de normalidad [44-46]. Estos valores de mayor anteversión pélvica durante la marcha confirman lo encontrado en posición estática.

Según está descrito, los cambios en la lordosis lumbar ocurren con frecuencia en la marcha patológica, por lo general asociados a alteraciones en la inclinación de la pelvis, y comúnmente suele aparecer como una compensación a una limitada flexión/extensión de la cadera [47]. Ambas situaciones se ha dado en los adolescentes con obesidad estudiados, por tanto, al igual que se ha comentado al analizar la postura en bipedestación, va a ser de interés valorar las posibles alteraciones que pudieran llegar a afectar la región lumbar.

En el plano frontal, debido al traslado del peso corporal de una extremidad a la otra y con la finalidad de facilitar la estabilidad, la pelvis realizó un movimiento alternante de inclinación derecha al comienzo de la fase de apoyo y de inclinación izquierda en la fase final, tal y como muestra la trayectoria (Figura 3.9), con un rango de movimiento de alrededor de 8° en el grupo de estudio, similar a los valores considerados normales entre 6° y 10° [44-46, 48]. En cuanto al plano transversal y debido al avance de la extremidad inferior, se ha descrito que se produce una rotación pélvica anterior de unos 5° en las fases iniciales del contacto [44-46, 48], coincidiendo con el valor medio obtenido en los sujetos estudiados y tal y como muestra la trayectoria (Figura 3.9). A partir de ahí, el movimiento de la hemipelvis fue progresando hacia una posición neutra antero-posterior durante el apoyo medio. Al final del apoyo y el momento del despegue, debido al avance de la extremidad contralateral, se produjo un movimiento de rotación posterior. El rango total de movimiento de rotación antero-posterior fue de unos 8° para el grupo obesidad y de unos 11°, similar a los valores registrados por otros autores, 8°-10° [48-50]. No se han encontrado estudios que analicen la movilidad pélvica en sujetos obesos por lo que no es posible comparar estos parámetros con lo descrito por otros autores.

En relación con las alteraciones de la movilidad de las articulaciones del miembro inferior, Browning y Kram [17] tampoco obtuvieron diferencias significativas entre grupos durante la marcha de adultos con obesidad en los valores de movimientos articulares de la cadera, rodilla y tobillo, en el plano sagital. Igualmente, Shultz et al. [22] en su estudio realizado en niños obesos, tampoco mostraron diferencias significativas entre grupos en los valores angulares analizados durante la marcha de los niños, en ninguno de los tres planos anatómicos de referencia.

Spyropoulos et al. [15] obtuvieron mayor abducción de cadera, menor flexión plantar y mayor dorsiflexión a lo largo de todo el ciclo de marcha, para los participantes obesos. En este sentido, los valores angulares para los adolescentes con obesidad de nuestro estudio, aunque sin significancia estadística como acabamos de indicar, también mostraron menor flexión dorsal y mayor flexión plantar, lo que, tal y como indica este autor, podría ser un mecanismo para llevar el pie lo antes posible al suelo para mejorar el equilibrio.

Sin embargo, DeVita y Hortobágyi [16] indicaron que los adultos con obesidad presentaron, a nivel del tobillo, resultados opuestos, es decir mayor flexión plantar durante toda la fase de apoyo para el grupo de adultos con obesidad en los tres planos de movimiento. Estos autores también obtuvieron una mayor extensión de cadera, lo que tampoco coincidió con el valor medio de extensión de cadera de nuestro estudio. Las diferencias de estos resultados con el presente estudio, podrían explicarse en base, por un lado, a los distintos sistemas utilizados y, por otro al distinto grado de obesidad. Posiblemente, dado que los adolescentes del presente estudio presentaron un nivel bajo de obesidad o preobesidad (Tabla 3.1, [31]), no se encontraron importantes alteraciones en la cinemática de la marcha.

No obstante, los adultos con obesidad del estudio de DeVita y Hortobágyi [16] presentaron menor flexión de rodilla y esto sí coincide con el valor medio de flexión obtenido entre los grupos de adolescentes del actual estudio. Esta menor flexión de rodilla también fue descrita por Gushue et al. [18], quienes realizaron un estudio en adolescentes obesos.

A pesar de que no se obtuvieron diferencias significativas en ninguno de estos parámetros, tal y como se indicó al principio, hay que tener en cuenta que el número de obesos analizados es muy reducido, por lo que algunos de estos parámetros cinemáticos presentarían diferencias significativas si se consideraran muestras mayores.

Pelvis	Grupo	Media (StD)	Valor p
Anteversión	Control	8.986(2.417)	0.1496
	Obesidad	12.413(5.840)	
Retroversión	Control	6.805(2.975)	0.2655
	Obesidad	9.718(6.244)	
Inclinación Derecha	Control	5.317(1.770)	0.7847
	Obesidad	4.985(2.881)	
Inclinación Izquierda	Control	-5.267(1.872)	0.1632
	Obesidad	-3.807(0.588)	
Rotación Anterior	Control	6.186(2.197)	0.5225
	Obesidad	5.223(2.942)	
Rotación Posterior	Control	-5.795(4.586)	0.4307
	Obesidad	-3.771(2.473)	

Cadera	Grupo	Media (StD)	Valor p
Flexión	Control	30.824(2.886)	0.9004
	Obesidad	31.228(8.872)	
Extensión	Control	-10.539(4.307)	0.6202
	Obesidad	-8.712(8.989)	
Aducción	Control	6.397(2.477)	0.7118
	Obesidad	7.083(4.104)	
Abducción	Control	-6.670(1.996)	0.5387
	Obesidad	-5.748(3.289)	
Rotación Interna	Control	7.141(7.715)	0.8356
	Obesidad	8.151(8.428)	
Rotación Externa	Control	-7.174(5.967)	0.5445
	Obesidad	-9.375(5.547)	

Figura 3.10: Picos máximos de los desplazamientos angulares ($^{\circ}$) para la pelvis y la cadera durante la fase de apoyo del grupo control y obesidad; media del máximo (StD) y valores p.

Rodilla	Grupo	Media (StD)	Valor p
Flexión	Control	31.293(4.317)	0.4407
	Obesidad	28.648(7.833)	
Extensión	Control	5.839(4.051)	0.1054
	Obesidad	-0.101(5.990)	
Aducción	Control	4.663(3.027)	0.9613
	Obesidad	4.762(3.925)	
Abducción	Control	-0.873(1.967)	0.6730
	Obesidad	-1.464(2.918)	
Rotación Interna	Control	-7.076(6.275)	0.5574
	Obesidad	-4.963(4.334)	
Rotación Externa	Control	-23.288(8.167)	0.8063
	Obesidad	-24.412(5.061)	
Tobillo	Grupo	Media (StD)	Valor p
Flexión Dorsal	Control	15.851(2.025)	0.5566
	Obesidad	18.099(3.421)	
Flexión Plantar	Control	-8.203(4.714)	0.5600
	Obesidad	-5.779(2.007)	
Inversión	Control	1.275(1.312)	0.3339
	Obesidad	1.149(2.602)	
Eversión	Control	-3.616(2.078)	0.0711
	Obesidad	-1.729(0.722)	
Rotación Interna	Control	14.639(7.343)	0.0962
	Obesidad	9.890(4.125)	
Rotación Externa	Control	-5.988(5.484)	0.1779
	Obesidad	-9.864(10.915)	

Figura 3.11: Picos máximos de los desplazamientos angulares ($^{\circ}$) para la rodilla y el tobillo durante la fase de apoyo del grupo control y obesidad; media del máximo (StD) y valores p.

3.7 Resumen del capítulo

En este estudio, se obtuvo buena fiabilidad del sistema de medición en la obtención de las variables deseadas, así como simetría entre los miembros inferiores.

Además, se compararon ambos grupos de estudio sin distinguir entre chicos y chicas.

En cuanto a las características descriptivas se presentaron diferencias significativas entre grupos únicamente para el índice de masa corporal ($p < 0.05$), lo que indica que los grupos fueron homogéneos. Esto junto con la validación del grupo control permitió realizar la comparación entre el grupo control y el grupo obesidad definida en el capítulo 2.

Se verificó la validez del grupo control como referencia para comparar los parámetros de la marcha entre este grupo control y el grupo obesidad.

Se obtuvieron diferencias significativas entre grupos en los parámetros témporo-espaciales de la marcha, debido a que los adolescentes del grupo obesidad presentaron una menor velocidad de la marcha, longitud de paso y cadencia y una mayor duración total del ciclo, del paso y del tiempo de apoyo porcentual. Estas compensaciones tienen como objetivo la mejora de la estabilidad y el mantenimiento del equilibrio durante la fase de apoyo de la marcha.

En todos los casos el patrón de movimiento angular fue similar entre el grupo de adolescentes con obesidad y el grupo control. No se obtuvieron diferencias significativas entre ambos grupos de estudio en los valores angulares de movilidad máxima, aunque se indicó que los sujetos del grupo obesidad caminaban con menor flexión de tobillo y rodilla y con una mayor anteversión pélvica durante toda la fase de apoyo, y realizaban una menor extensión de cadera al final de la fase de apoyo.

Sin embargo, investigaciones futuras en mayor profundidad y con un mayor número de participantes obesos y de peso normal, serían necesarias para verificar los resultados obtenidos en este TFM.

Capítulo 4

Conclusiones y líneas futuras

4.1 Conclusiones

La obesidad infantil es hoy en día un problema de salud de gran trascendencia debido a que en los últimos años ha ido aumentando de manera alarmante, tal y como declara la OMS [1]. Por ello, se siguen realizando investigaciones sobre la obesidad en niños y adolescentes en la actualidad [2, 51].

Los adultos con obesidad tienen que realizar grandes esfuerzos para bajar de peso y mantenerlo, además, un exceso de peso puede provocarles serios problemas de salud. Por ello, la prevención de la obesidad desde la infancia o adolescencia es la mejor vía de evitar esta enfermedad y, así mismo, los problemas que provoca. Así, modificando principalmente los hábitos de los niños/adolescentes para que tengan una vida saludable se podrá controlar el aumento de peso, aunque esto no será siempre posible, ya que la obesidad es en gran parte resultado de la genética de la persona [6, 33, 52]. Además, la prevención de la obesidad no sólo es tarea de los propios niños o adolescentes que la sufren, sino que también de las familias, escuelas y comunidades [6, 14].

Como tratamiento a esta enfermedad, se suele recomendar la realización de ejercicios aeróbicos de baja intensidad y larga duración, como lo es la locomoción. La marcha es, además, una de las actividades físicas más comúnmente realizadas durante la vida cotidiana. Por tanto, será imprescindible analizarla para conocer los problemas que pueden presentar los adolescentes obesos durante la realización de esta actividad.

El objetivo de este estudio ha sido medir cómo la obesidad afecta la biomecánica de la marcha de adolescentes, para obtener una mejor percepción de las diferentes

características de la marcha de los adolescentes con obesidad respecto a los de peso normal.

Se verificó que los valores obtenidos para el grupo control fueron similares a los considerados normales por la comunidad científica. Por tanto, se pudieron realizar comparaciones de los parámetros de la marcha entre este grupo control validado y el grupo obesidad.

Se obtuvieron diferencias significativas entre grupos en los parámetros témporo-espaciales de la marcha, debido a que los adolescentes del grupo obesidad presentaron una menor velocidad de la marcha, longitud de paso y cadencia y una mayor duración total del ciclo, del paso y del tiempo de apoyo porcentual. Todo esto para obtener una mejor estabilidad y, por tanto, una marcha más segura, ya que si mejoran la estabilidad tendrán menor número de caídas. Aunque, una reducción de las caídas no es buena si va asociada a una reducción de la actividad física, ya que esto provocaría un aumento de peso y los problemas consecuentes. Además, al comparar con la literatura, se llegó a la conclusión de que si los adolescentes con obesidad realizaran ejercicio físico habitualmente y llevaran una vida menos sedentaria, mejorarían considerablemente su marcha y no se apreciarían diferencias entre los patrones de marcha de ambos grupos.

Más tarde, se observó que, en todos los casos, el patrón de movimiento angular fue similar entre el grupo de adolescentes con obesidad y el grupo control. No se obtuvieron diferencias significativas entre ambos grupos de estudio en los valores angulares de movilidad máxima, aunque el análisis de los valores medios y de las trayectorias de desplazamiento angular indicó que los sujetos del grupo obesidad caminaban con menor flexión de tobillo y rodilla y con una mayor anteversión pélvica durante toda la fase de apoyo, y realizaban una menor extensión de cadera en la fase de despegue de la marcha.

Para concluir, el análisis de la marcha es la mejor forma de evaluar objetivamente las alteraciones que presentan los pacientes con obesidad, ya que su eficiencia se puede ver reducida por el exceso de peso.

A pesar de los resultados obtenidos, se ha advertido que no son muchos los estudios que analizan ni los parámetros témporo-espaciales ni la cinemática angular de la marcha en personas obesas, y mucho menos en adolescentes, con un único estudio conocido de cada tipo, y que los datos obtenidos en cada uno de los estudios son muy dispares, por lo que es necesario aplicar este estudio con una muestra considerable para intentar determinar realmente las características de la marcha de esta población específica.

En vista a que la obesidad infantil es un problema cada vez más importante en nuestro país, la puesta en marcha de prácticas nutricionales y de ejercicio físico tienen en la infancia un papel decisivo. Por ello, en un futuro cercano, cuando se realicen estudios en mayor profundidad sobre este tema y se tengan resultados más fiables, estos estudios podrían ayudar a realizar diagnósticos fiables sobre los problemas biomecánicos que presentan o que podrían presentar las personas con obesidad si siguieran siendo obesos y también ayudarían a proponer una serie de estrategias que reducirían su índice de masa corporal y mejorarían, por tanto, su calidad de vida, como la familiarización con actividades físicas de baja intensidad para ayudar a desarrollar poco a poco su condición física.

4.2 Líneas futuras

Este TFM podría ser continuado en un futuro con el fin de completar el estudio actual, por lo que, como se venía anunciando, se podrían realizar más estudios relacionados con el análisis de la marcha de obesos en la adolescencia. Estos se proponen a continuación:

- ◊ Al tratarse de un estudio piloto, se necesitará realizar el mismo estudio pero con un mayor número de participantes tanto de peso normal como con obesidad, para poder determinar con gran seguridad sus características de la marcha. Al igual que también se necesitarían adolescentes de ambos sexos.
- ◊ Los adolescentes del estudio actual presentaron un grado de obesidad bajo (preobesidad), por lo que también se necesitaría realizar el estudio con adolescentes obesos que tengan un mayor grado de obesidad.
- ◊ Una comparación entre grupo control y obesidad de los participantes del mismo sexo podría ser interesante para eliminar las posibles diferencias de género en el cálculo de las características de la marcha.
- ◊ El estudio está limitado a individuos sin ningún problema músculo-esquelético u ortopédico. Por tanto, no se sabe si adolescentes obesos con problemas de este tipo presentarían los mismos resultados que los participantes del estudio actual. Por ello, se propone que en un futuro se hagan estudios en adolescentes obesos con alguno de estos problemas, como osteoartritis de rodilla, por ejemplo.

- ◇ Realizar un estudio más preciso en el que se divida la fase de apoyo en subfases y se calculen los valores angulares de la pelvis y articulaciones de las extremidades inferiores en cada una de ellas.
- ◇ A pesar de la información proporcionada por los parámetros témporo-espaciales y angulares, un análisis cinético, es decir, un estudio de los momentos, fuerzas y potencias, también es importante para explicar las causas de los movimientos realizados durante la marcha, tal y como se hizo en los estudios [16-18, 21, 22, 53].
- ◇ Un análisis de la marcha a distintas velocidades también podrá proporcionar resultados relevantes, al igual que se hizo en los estudios [16-20, 22, 54-57]. Por tanto, sería interesante realizar estudios de marcha a varias velocidades distintas de la espontánea.
- ◇ Cada persona camina de una manera totalmente diferente, ajustándose a la forma que menos gasto energético le suponga para mantener la estabilidad. Por ello, sería interesante analizar la energía que gastan los adolescentes obesos durante la marcha respecto a los de peso normal, como se realizó en otros estudios [54, 55, 57].
- ◇ Una monitorización de la actividad muscular a través de electromiografía podría proporcionar información relevante sobre qué músculos trabajan más durante la marcha, lo que ayudaría también a dar un diagnóstico más fiable sobre las causas de las alteraciones de la marcha.
- ◇ Utilizar otros sistemas de captura como el sistema óptico Optitrack o sensores inerciales Xsens para contrastar los datos obtenidos.

4.3 Prácticas

Durante la realización del TFM se realizaron unas prácticas en la empresa Podoactiva ubicada en el Parque Tecnológico de Walqa (Huesca). Dichas prácticas consistieron principalmente en la realización de estudios biomecánicos de la pisada para prevenir lesiones musculares y osteoarticulares o para evaluar la pisada antes y después de realizar tratamientos de patologías. La explicación del trabajo realizado durante las prácticas se encuentra en el [Apéndice I].

Bibliografía

- [1] Organización Mundial de la Salud, Programas y proyectos, Estrategia mundial sobre régimen alimentario, actividad física y salud, **Sobrepeso y obesidad infantiles**. 'http://www.who.int/dietphysicalactivity/childhood/es/' [Consulta: 1 agosto 2012].
- [2] El Periódico, Sociedad, **La obesidad infantil ya se parece a la de EEUU, 16 mayo 2012**. 'http://www.elperiodico.com/es/noticias/sociedad/obesidad-infantil-parece-eeuu-1794021' [Consulta: 1 agosto 2012].
- [3] Organización Mundial de la Salud, Programas y proyectos, Estrategia mundial sobre régimen alimentario, actividad física y salud, Sobrepeso y obesidad infantiles, **¿Por qué son importantes el sobrepeso y la obesidad infantiles?**. 'http://www.who.int/dietphysicalactivity/childhood_consequences/es/index.html' [Consulta: 1 agosto 2012].
- [4] M.K. Serdula, D. Ivery, R.J. Coates, D.S. Freedman, D.F. Williamson, T. Byers. **Do obese children become obese adults? a review of the literature**. *Preventive Medicine*, 22, 167-177, 1993.
- [5] Shumei S Guo, Alex F Roche, W Cameron Chumlea, Jane D Gardner, and Roger M Siervogel. **The predictive value of childhood body mass index values for overweight at age 35**. *American Journal of Clinical Nutrition*, 59, 810-819, 1994.
- [6] T. Lobstein, L. Baur and R. Uauy. **Obesity in children and young people: a crisis in public health**. *The International Association for the Study of Obesity. Obesity reviews* 5 (Suppl. 1), 4-85, 2004.
- [7] Natalie S. The, Chirayath Suchindran, Kari E. North, Barry M. Popkin, Penny Gordon-Larsen. **Association of Adolescent Obesity With Risk of Severe Obesity in Adulthood**. *The Journal of American Medical Association*, 304(18), 2042-2047, November 2010.

-
- [8] F Xavier Pi-Sunyer. **Health implications of obesity.** *American Journal of Clinical Nutrition*, 53, 1595S-1603S, 1991.
- [9] William H. Dietz. **Health Consequences of Obesity in Youth: Childhood Predictors of Adult Disease.** *Pediatrics* 101, 518, 1998.
- [10] Aviva Must, Jennifer Spadano, Eugenie H. Coakley, Alison E. Field, Graham Colditz, William H. Dietz. **The Disease Burden Associated With Overweight and Obesity.** *The Journal of American Medical Association*, 282(16), 1523-1529, 1999.
- [11] Ali H. Mokdad, Earl S. Ford, Barbara A. Bowman, William H. Dietz, Frank Vinicor, Virginia S. Bales, James S. Marks. **Prevalence of Obesity, Diabetes, and Obesity-Related Health Risks Factors, 2001.** *The Journal of American Medical Association*, 289(1), 76-79, January 2003.
- [12] S.D. Stovitz, P.E. Pardee, G. Vazquez, S. Duval, J.B. Schwimmer. **Musculoskeletal pain in obese children and adolescents.** *Acta Paediatr*, 97(4), 489-93, April 2008.
- [13] Erica D. Taylor, Kelly R. Theim, Margaret C. Mirch, Samareh Ghorbani, Marian Tanofsky-Kraff, Diane C. Adler-Wailes, Sheila Brady, James C. Reynolds, Karim A. Calis and Jack A. Yanovski. **Orthopedic Complications of Overweight in Children and Adolescents.** *Pediatrics*, 117, 2167, 2006.
- [14] Andrew P. Hills. **Locomotor characteristics of obese children.** *Child Care Health Development*, 18(1), 29-34, January 1992.
- [15] Panagiotis Spyropoulos, Jeffrey C. Pisciotta, Konstantin N. Pavlou, Marilyn A. Caisns, Sheldon R. Simon. **Biomechanical Gait Analysis in Obese Men.** *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 72, 1065-70, December 1991.
- [16] Paul DeVita, Tibor Hortobágyi. **Obesity is not associated with increased knee joint torque and power during level walking.** *Journal of Biomechanics*, 36, 1355-1362, 2003.
- [17] Raymond C. Browning and Rodger Kram. **Effects of Obesity on the Biomechanics of Walking at Different Speeds.** *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(9), 1632-1641, 2007.

- [18] David L. Gushue, Jeff Houck, and Amy L. Lerner. **Effects of Childhood Obesity on Three-Dimensional Knee Joint Biomechanics During Walking.** *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 25(6), 763-768, November/December 2005.
- [19] Janet S. Dufek, John A. Mercer, Rayland Currie, Philana-Lee Gouws, Lori Candela, Antonio P. Gutierrez, and LeAnn G. Putney. **Effects of obesity on symmetry and spatio-temporal characteristics of adolescent gait.**
- [20] Ben McGraw, Bruce A. McClenaghan, Harriet G. Williams, John Dickerson, and Dianne S. Ward. **Gait and Postural Stability in Obese and Nonobese Prepubertal Boys.** *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 81, 484-9, 2000.
- [21] Julie Nantel, Martin Brochu, and François Prince. **Locomotor strategies in obese and non-obese children.** *Obesity*, 14(1), 1789 -1794, October 2006.
- [22] Sarah P. Shultz, Michael R. Silter, Ryan T. Tierney, Howard J Hillstrom, Jinsup Song. **Effects of pediatric obesity on joint kinematics and kinetics during 2 walking cadences.** *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 90, 2146-54, December 2009.
- [23] Samuel Anderson, Supervisor: Yanxin Zhang. **Effect of childhood obesity on musculoskeletal discomfort.** *Sport and Exercise Science Biomechanics Department, University of Auckland, not enrolled for 2011.*
- [24] Ana Cristina Royo Sánchez. **Análisis, calibración y optimización de sistemas de medición por coordenadas sin contacto. Aplicación a un sistema de análisis de movimiento humano.** *Universidad de Zaragoza, Capítulo 2(3), 34-45, Diciembre 2009.*
- [25] Hylton B. Menz, Mark D. Latt, Anne Tiedemann, Marcella Mun San Kwan and Stephen R. Lord. **Reliability of the GAITRite walkway system for the quantification of temporo-spatial parameters of gait in young and older people.** *Gait and Posture*, 20, 2025, 2004.
- [26] Öberg T, Karsznia A and Öberg K. **Basic gait parameters: Reference data for normal subjects, 10-79 years of age.** *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 30(2), 210-223, 1993.

- [27] Teresa Villar San Pío, M.^a Pilar Mesa Lampré, Ana Belén Esteban Gimeno, Ana Cristina Sanjoaquín Romero, Elena Fernández Arín. **Tratado de geriatría para residentes, Síndromes geriátricos, Alteraciones de la marcha, inestabilidad y caídas.** *Capítulo 19, 199-209, 2007.*
- [28] M.^a Ángeles Franco Sierra. **El antepié varo infantil: valoración, alteraciones asociadas y abordaje terapéutico manual.** *Universidad de Zaragoza, 2011.*
- [29] Juan Carlos Aragüés Bravo. **Estudio biomecánico de la articulación de la rodilla tras lesión y reconstrucción quirúrgica por rotura del ligamento cruzado anterior.** *Universidad de Zaragoza, Capítulo I (14), 2000.*
- [30] Sabharwal S, Zhao C, Edgar M. **Lower limb alignment in children: reference values based on a full-length standing radiograph.** *Journal of Pediatric Orthopaedics, 28(7), 740-746, Oct-Nov 2008.*
- [31] La revista del grupo hospitalario Quirón. **Hacia la derrota del dolor.** *Número 12, págs. 18-20 y 30, 2012.*
- [32] Bruijn SM, Meijer OG, van Dieen JH, Kingma I, Lamoth CJ. **Coordination of leg swing, thorax rotations, and pelvis rotations during gait: the organisation of total body angular momentum.** *Gait and Posture, 27(3), 455-462, 2008 Apr.*
- [33] Lafage V, Schwab F, Skalli W, Hawkinson N, Gagey PM, Ondra S, et al. **Standing balance and sagittal plane spinal deformity: analysis of spinopelvic and gravity line parameters.** *Spine (Phila Pa 1976), 33(14), 1572-1578, 2008 Jun 15.*
- [34] Schwab F, Lafage V, Patel A, Farcy JP. **Sagittal plane considerations and the pelvis in the adult patient.** *Spine (Phila Pa 1976), 34(17), 1828-1833, 2009 Aug 1.*
- [35] Smith A, O'Sullivan P, Straker L. **Classification of sagittal thoraco-lumbo-pelvic alignment of the adolescent spine in standing and its relationship to low back pain.** *Spine (Phila Pa 1976), 33(19), 2101-2107, 2008 Sep 1.*

- [36] Nguyen AD, Shultz SJ. **Identifying relationships among lower extremity alignment characteristics.** *J Athl Train*, 44(5), 511-518, 2009 Sep-Oct.
- [37] Assi A, Ghanem I, Lavaste F, Skalli W. **Gait analysis in children and uncertainty assessment for Davis protocol and Gillette Gait Index.** *Gait and Posture*, 30(1), 22-26, 2009 Jul.
- [38] Boulay C, Tardieu C, Hecquet J, Benaim C, Mouilleseaux B, Marty C, et al. **Sagittal alignment of spine and pelvis regulated by pelvic incidence: standard values and prediction of lordosis.** *Eur Spine J*, 15(4), 415-422, 2006 Apr.
- [39] Lafond D, Descarreaux M, Normand MC, Harrison DE. **Postural development in school children: a cross-sectional study.** *Chiropr Osteopat*, 4, 15:1, 2007 Jan.
- [40] Balague F, Troussier B, Salminen JJ. **Non-specific low back pain in children and adolescents: risk factors.** *Eur Spine J*, 8(6), 429-438, 1999.
- [41] Taimela S, Kujala UM, Salminen JJ, Viljanen T. **The prevalence of low back pain among children and adolescents. A nationwide, cohort-based questionnaire survey in Finland.** *Spine (Phila Pa 1976)*, 22(10), 1132-1136, 1997 May 15.
- [42] Watson KD, Papageorgiou AC, Jones GT, Taylor S, Symmons DP, Silman AJ, et al. **Low back pain in schoolchildren: occurrence and characteristics.** *Pain*, 97(1-2), 87-92, 2002 May.
- [43] Sánchez-Lacuesta J. **Biomecánica de la marcha humana normal. Biomecánica de la marcha humana normal y patológica.** Valencia: Instituto biomecánico de Valencia, p. 19-105, 1993.
- [44] Perry J. **Gait Analysis. Normal and pathological function.** Thorofare: Salck, 1992.
- [45] Kadaba MP, Ramakrishnan HK, Wootten ME. **Measurement of lower extremity kinematics during level walking.** *J Orthop Res*, 8(3), 383-392, 1990 May.

- [46] Stokes VP, Andersson C, Forssberg H. **Rotational and translational movement features of the pelvis and thorax during adult human locomotion.** *J Biomech*, 22(1), 43-50, 1989.
- [47] Parker N, Greenhalgh A, Chockalingam N, Dangerfield PH. **Positional relationship between leg rotation and lumbar spine during quiet standing.** *Stud Health Technol Inform*, 140, 231-9, 2008.
- [48] Inman VT, Ralston HJ, Tood F. **Human Walking.** *Baltimore: Williams and Wilkims*, 1981.
- [49] Murray MP, Drought AB, Kory RC. **Walking Patterns of Normal Men.** *The Journal of Bone and Joint Surgery, American Volume*, 46, 335-360, Mar 1964.
- [50] Murray MP, Kory RC, Sepic SB. **Walking Patterns of Normal Women.** *Arch Phys Med Rehabi*, 51(11), 637-650, 1970 Nov.
- [51] Boletín informativo diario de la Universidad, Universidad de Zaragoza, 30 Mayo 2012. 'http://www.unizar.es/actualidad/vernoticia.php?id=8389&idh=2718%23' [Consulta: 1 agosto 2012].
- [52] Blanca M. Herrera, Sarah Keildson, Cecilia M. Lindgren. **Genetics and epigenetics of obesity.** *Maturitas*, 69, 41-49, May 2011.
- [53] Sarah P. Shultz, Andrew P. Hills, Michael R. Sitler, Howard J. Hillstrom. **Body size and walking cadence affect lower extremity joint power in children's gait.** *Gait and Posture*, 32, 248-252, 2010.
- [54] Claudio Maffei, Yves Schutz Y, Federico Schena, Marco Zaffanello, and Leonardo Pinelli. **Energy expenditure during walking and running in obese and nonobese prepubertal children.** *The Journal of Pediatrics*, 123, 193-9, 1993.
- [55] Raymond C. Browning, Emily A. Baker, Jessica A. Herron, and Rodger Kram. **Effects of obesity and sex on the energetic cost and preferred speed of walking.**
- [56] Nicolas Peyrot, David Thivel, Laurie Isacco, Jean-Benoît Morin, Pascale Duché and Alain Belli. **Do mechanical gait parameters explain the higher metabolic cost of walking in obese adolescents?.** *Journal of Applied Physiology*, 106, 1763-1770, February 2009.

- [57] Michael W. Whittle. **Gait analysis: an introduction.** *Butterworth-Heinemann, Second Edition, Chapter 2, 58-66, 2000.*

