



Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud

Grado en Fisioterapia

TRABAJO FIN DE GRADO

Estudio preliminar de la relación entre la
composición corporal y la cinética de la
marcha en una población deportista joven

Autor: Miguel Ángel González Martins

Tutores: Jesús García Martín

Rosa Rodríguez Torres

Alcalá de Henares 22 de Junio de 2015

A mis padres, por su incondicional amor y por la educación recibida

A mis hermanas Verónica, por su bondad, y Vanesa, ejemplo de superación

A mis tutores y profesores por la formación recibida

Resumen:

Hipótesis y objetivo: la finalidad de este estudio es objetivar las relaciones entre la composición corporal total y regional (mediante DXA) y los parámetros cinéticos de la marcha a velocidad normal en una población joven deportista. **Métodos:** se exploran 8 varones y 8 mujeres deportistas entre 19-25 años a los que se les realiza las pruebas de marcha y de densitometría. **Resultados:** los varones deportistas presentan valores más altos para todas las variables exceptuando la masa grasa. El contenido mineral óseo para la muestra total, se relaciona significativamente con la masa magra, masa grasa y las fuerzas verticales. Existe además una correlación inversa entre los tiempos de apoyo y la velocidad de paso. **Conclusión:** al analizar las variables se observa para la mayoría de éstas una tendencia que difiere según el género. Existe una alta correlación del contenido mineral con la masa magra, masa grasa y fuerzas verticales. Los resultados deben interpretarse como una tendencia para en trabajos posteriores poder comprobar su veracidad y aplicabilidad.

Palabras clave: cinética, marcha, densitometría, composición corporal, correlación, deporte.

Abstract:

Hypothesis and purpose: the aim of this study is to objective the relations between total and regional body composition (by DXA) and kinetic gait parameters at normal speed in an Athletic population. **Methods:** 8 men and 8 women 19-25 years who were tested in a densitometry and walking at normal speed. **Results:** Athletic men have higher values for all variables except in fat mass. The whole sample shows a high correlation of the bone mineral content with fat mass, lean mass and vertical forces. There is also an indirect correlation between the support time and the speed of step. **Conclusion:** the following variables were observed for most of them as a trend that differs by gender. There is a high correlation of the mineral content with the lean mass, fat mass and vertical forces. The results should be interpreted as a trend for future work in order to verify its accuracy and applicability.

Keywords: kinetic, human gait, densitometry, body composition, correlation, sport.

Índice de contenidos

1. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	1
2. LIMITACIONES Y PREMISAS	3
2.1 LIMITACIONES.....	4
2.2 PREMISAS	4
3. INTRODUCCIÓN	5
3.1 ANÁLISIS DE LA COMPOSICIÓN CORPORAL	6
3.1.1 Absorciometría dual fotónica de rayos X (DXA)	8
3.1.2 Principios básicos de DXA	10
3.2 ANÁLISIS DE LA MARCHA HUMANA	11
3.2.1 El ciclo de la marcha	13
3.2.2 Mecanismos de optimización	17
3.2.3 Métodos de estudio	19
3.2.3.1 Estudio cinético	19
3.2.3.2 Plataformas dinamométricas.....	20
4. MATERIAL Y MÉTODOS	25
4.1 SELECCIÓN DE SUJETOS	26
4.2 CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN	28
4.3 MATERIAL Y PROCEDIMIENTOS	29
4.4 PRUEBA DE DENSITOMETRÍA	29
4.4.1 Densitómetro Norland XR-800 Quick Scan	30
4.4.2 Técnica de registro.....	31
4.5 PRUEBA DE MARCHA	33
4.5.1 Plataformas dinamométricas	34
4.5.2 Técnica de registro.....	36
4.6 PARÁMETROS ANALIZADOS	37
4.6.1 Parámetros de la densitometría	45
4.6.2 Parámetros de la marcha	45
5. RESULTADOS	49
5.1 Gráficas comparativas en género.....	51
5.2 Análisis de los coeficientes de correlación.....	58
5.3 Representación gráfica de las correlaciones	61
6. DISCUSIÓN	63
7. CONCLUSIÓN	66
8. BIBLIOGRAFÍA	68
9. ANEXOS	74

Índice de abreviaturas y acrónimos

Relacionadas con la composición corporal

DXA: Absorciometría de Rayos X de energía dual

IMC: Índice de Masa corporal

MCT: Masa Corporal total

GT: Porcentaje de Grasa Total

GSiri: Porcentaje de Grasa de Siri EBA

GBrozek: Porcentaje de Grasa de Brozek EBA

CMOT/MLG: Contenido Mineral Óseo total en porcentaje de Masa Libre de Grasa

DMOT: Densidad Mineral Ósea Total

DMOC: Densidad Mineral Ósea de la Cabeza

DMOP: Densidad Mineral Ósea del Pecho

DMOMT: Densidad Mineral Ósea del Medio Torso

DMOPV: Densidad Mineral Ósea de la Pelvis

DMOPI: Densidad Mineral Ósea de la Pierna Izquierda

DMOPD: Densidad Mineral Ósea de la Pierna Derecha

DMOBI: Densidad Mineral Ósea del Brazo Izquierdo

DMOBD: Densidad Mineral Ósea del Brazo Derecho

CMOT: Contenido Mineral Óseo Total

CMOC: Contenido Mineral Óseo de la Cabeza

CMOP: Contenido Mineral Óseo del Pecho

CMOMT: Contenido Mineral Óseo del Medio Torso

CMOPV: Contenido Mineral Óseo de la Pelvis
CMOPI: Contenido Mineral Óseo de la Pierna Izquierda
CMOPD: Contenido Mineral Óseo de la Pierna Derecha
CMOBI: Contenido Mineral Óseo del Brazo Izquierdo
CMOBD: Contenido Mineral Óseo del Brazo Derecho
AT: Área Total
AC: Área de la Cabeza
AP: Área del Pecho
AMT: Área del Medio Torso
APV: Área de la Pelvis
API: Área de la Pierna Izquierda
APD: Área de la Pierna Derecha
ABI: Área del Brazo Izquierdo
ABD: Área del Brazo Derecho
MMT: Masa Magra Total
MMC: Masa Magra de la Cabeza
MMP: Masa Magra del Pecho
MMMT: Masa Magra del Medio Torso
MMPV: Masa Magra de la Pelvis
MMPI: Masa Magra de la Pierna Izquierda
MMPD: Masa Magra de la Pierna Derecha
MMBI: Masa Magra del Brazo Izquierdo
MMBD: Masa Magra del Brazo Derecho
MGT: Masa Grasa Total

MGC: Masa Grasa de la Cabeza

MGP: Masa Grasa del Pecho

MCMT: Masa Grasa del Medio Torso

MCPV: Masa Grasa de la Pelvis

MGPI: Masa Grasa de la Pierna Izquierda

MGPD: Masa Grasa de la Pierna Derecha

MGBI: Masa Grasa del Brazo Izquierdo

MGBD: Masa Grasa del Brazo Derecho

Parámetros de la marcha (plataformas dinamométricas)

TAPD: Tiempo de Apoyo Pie Derecho

LONGPD: Longitud Paso Pie Derecho

VELPD: Velocidad Paso Pie Derecho

TPASOD: Tiempo Paso Pie Derecho

TDAP: Tiempo Doble Apoyo

FVID: Fuerza Vertical Impacto Pie Derecho

TFVID: Tiempo Fuerza Vertical Impacto Pie Derecho

FVAPD: Fuerza Vertical Apoyo de Talón Pie Derecho

TFVAPD: Tiempo Fuerza Vertical Apoyo de Talón Pie Derecho

FVVD: Fuerza Vertical Valle Pie Derecho

TFVVD: Tiempo Fuerza Vertical Valle Pie Derecho

FVDD: Fuerza Vertical Despegue Pie Derecho

TFVDD: Tiempo Fuerza Vertical Despegue Pie Derecho

TFHXmD: Tiempo Fuerza Horizontal Eje X mínima Pie Derecho
TFHXMD: Tiempo Fuerza Horizontal Eje X Máxima Pie derecho
FHXMD: Fuerza Horizontal Eje X Máxima Pie Derecho
TFHYmD: Tiempo Fuerza Horizontal Eje Y mínima Pie Derecho
FHYmD: Fuerza Horizontal Eje Y mínima Pie Derecho
TFHYMD: Tiempo Fuerza Horizontal Eje Y Máxima Pie Derecho
FHYMD: Fuerza Horizontal Eje Y Máxima Pie Derecho
TAPI: Tiempo Apoyo Pie Izquierdo
FVII: Fuerza Vertical Impacto Pie Izquierdo
TFVII: Tiempo Fuerza Vertical Impacto Pie Izquierdo
FVAPI: Fuerza Vertical Apoyo Talón Pie Izquierdo
TFVAPI: Tiempo Fuerza Vertical Apoyo Talón Pie Izquierdo
FVVI: Fuerza Vertical Valle Pie Izquierdo
TFVVI: Tiempo Fuerza Vertical Valle Pie Izquierdo
FVDI: Fuerza Vertical Despegue Pie Izquierdo
TFVDI: Tiempo Fuerza Vertical Despegue Pie Izquierdo
FHXml: Fuerza Horizontal Eje X mínima Pie Izquierdo
TFHXml: Tiempo Fuerza Horizontal Eje X mínima Pie Izquierdo
FHXMI: Fuerza Horizontal Eje X Máxima Pie Izquierdo
TFHXMI: Tiempo Fuerza Horizontal Eje X Máxima Pie Izquierdo
FHYml: Fuerza Vertical Horizontal Eje Y mínima Pie Izquierdo
TFHYml: Tiempo Fuerza Horizontal Eje Y mínima Pie Izquierdo
FHYMI: Fuerza Horizontal Eje Y Máxima Pie Izquierdo
TFHYMI: Tiempo Fuerza Horizontal Eje Y Máxima Pie Izquierdo

Relacionadas con la estadística (componentes principales)

CP_DMO: Contenido Principal Densidad Mineral Ósea

CP_CMO: Contenido Principal Contenido Mineral Óseo

CP_MM: Contenido Principal Masa Magra

CP_MG: Contenido Principal Masa Grasa

CP_F: Contenido Principal Fuerzas Verticales

CP_T: Contenido Principal Tiempos de las Fuerzas Verticales

Índice de tablas y figuras

Tablas

TABLA 4.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS SUJETOS DEL ESTUDIO	27
TABLA 4.2 CRITERIOS DE INCLUSIÓN.....	28
TABLA 4.3 CRITERIOS DE EXCLUSIÓN	28
TABLA 5.1 COEFICIENTES DE CORRELACIÓN DE LA MUESTRA TOTAL	58
TABLA 5.2 COEFICIENTES DE CORRELACIÓN PARA LA MUESTRA DE HOMBRES	59
TABLA 5.3 COEFICIENTES DE CORRELACIÓN PARA LA MUESTRA DE MUJERES.....	60
TABLA 5.4 GRÁFICA CORRELACIÓN MUESTRA TOTAL.....	61

Figuras

FIGURA 3.1 COMPONENTES CUERPO HUMANO (HEIMSFIELD, 2007).....	7
FIGURA 3.1.2 MODELO TETRACOMPARTIMENTAL (TOOBMS, 2012)	9
FIGURA 3.2 CRONOFOTOGRAFÍA (MAREY, 1870)	12
FIGURA 3.2.1 CICLO DE LA MARCHA (PRAT, 1999)	14
FIGURA 3.2.2 PARÁMETROS DE LA MARCHA (PRAT, 1999)	16
FIGURA 3.2.3 CENTRO DE PRESIONES (PERRY, 1992)	18
FIGURA 3.2.4 APOYO SEGÚN LELIÈVRE (VILADOT VOEGELI, 2001)	18
FIGURA 3.2.5 GRÁFICA PLATAFORMAS DINAMOMÉTRICAS (VIEL, 1984).....	20
FIGURA 3.2.6 FUERZAS SOBRE PLATAFORMAS DINAMOMÉTRICAS (PRAT, 1999).....	21
FIGURA 3.2.7 UBICACIÓN PIES EN PLATAFORMAS DINAMOMÉTRICAS (PRAT, 1999)	21
FIGURA 3.2.8 FUERZA VERTICAL (VILADOT VOEGELI, 2001)	22
FIGURA 3.2.9 FUERZA LONGITUDINAL (VILADOT VOEGELI, 2001)	23
FIGURA 3.2.10 FUERZA LATERAL (VILADOT VOEGELI, 2001)	23
FIGURA 3.2.11 ELECTROMIOGRAFÍA DURANTE LA MARCHA (MANN, 1979)	24
FIGURA 4.1 IMAGEN DEL DENSITÓMETRO	31
FIGURA 4.2 IMAGEN DE LA COMPOSICIÓN CORPORAL	33

FIGURA 4.3 GRÁFICA FUERZA-TIEMPO DE LA MARCHA NORMAL.....	35
FIGURA 4.4 PASILLO DE MARCHA	37
FIGURA 4.5 GRÁFICA FUERZA-TIEMPO DE LA MARCHA NORMAL.....	48
FIGURA 5.1 GRÁFICA COMPARATIVA DE LA DMO	51
FIGURA 5.2 GRÁFICA COMPARATIVA DEL CMO.....	52
FIGURA 5.3 GRÁFICA COMPARATIVA DEL CMO AMPLIACIÓN 1.....	53
FIGURA 5.4 GRÁFICA COMPARATIVA DEL CMO AMPLIACIÓN 2.....	53
FIGURA 5.5 GRÁFICA COMPARATIVA DE LA MASA MAGRA	54
FIGURA 5.6 GRÁFICA COMPARATIVA DE LA MASA GRASA	55
FIGURA 5.7 GRÁFICA COMPARATIVA DE LAS FUERZAS VERTICALES	56
FIGURA 5.8 GRÁFICA COMPARATIVA DE LOS TIEMPOS DE LAS FUERZAS VERTICALES	57

1. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

El propósito del estudio es objetivar las conexiones entre la composición corporal total y regional (mediante DXA) y los parámetros cinéticos de la marcha a velocidad normal en sujetos que realizan actividad física con regularidad. Para este proceso se siguieron los siguientes pasos:

- Se registraron los valores promedios de los parámetros de composición corporal, cinemáticos, cinéticos de la marcha en adultos jóvenes sedentarios y deportistas (19-25 años).
- Se analizó la tendencia de estos parámetros en cada grupo y género.
- Se estudiaron las relaciones existentes de cada parámetro con los restantes recogidos.

Con esta información se pretende conseguir un mejor conocimiento de las relaciones existentes entre variables morfológicas (composición corporal) y funcionales (actividad durante la marcha humana) en personas que mantienen un cierto nivel de actividad física.

Hipótesis: ¿La práctica de ejercicio de manera regular entre hombres y mujeres jóvenes determina una composición corporal y una fisiología peculiar que se puede objetivar mediante absorciometría dual fotónica de Rx y análisis de marcha?

2. LIMITACIONES Y PREMISAS

2.1 Limitaciones¹

- El rango de edad de los participantes del estudio incluye individuos de 19 a 25 años. Aunque la población joven se suele considerar entre un rango de edades más amplio, no se pudo conseguir una muestra mayor debido a la corta duración de la realización del Trabajo Fin de Grado.
- Al disponer de una muestra reducida de sujetos debido a la corta duración del trabajo; se dificultó la estandarización de las variables obtenidas. No obstante este es un estudio preliminar que únicamente intenta reflejar la tendencia del comportamiento de las variables en un estudio con mayor número de sujetos.
- Cuando el número de variables de un estudio supera ampliamente al número de sujetos examinados, se puede recurrir al análisis de las componentes principales de los diferentes grupos de variables.

2.2 Premisas¹

- Solo se seleccionan para el estudio los sujetos que no padecen ninguna enfermedad generalizada o del aparato locomotor en los 24 meses previos al estudio.
- Tanto el estudio de la composición corporal como el análisis cinético de la marcha son actividades inocuas para los sujetos que participan en la prueba.
- Todos los sujetos son informados de las características del estudio a realizar y su participación fue completamente voluntaria.
- El equipamiento de la prueba de marcha no debe influir en los sujetos al realizar la misma.
- Las fuerzas registradas durante la marcha son normalizadas con el peso de cada sujeto para facilitar las comparaciones entre ellos.
- Todos los sujetos deben cumplir los criterios de inclusión.

3. INTRODUCCIÓN

3.1 Análisis de la composición corporal

En numerosa bibliografía queda demostrada la relación existente entre la estructura y la función.

Un área de evaluación en las ciencias aplicadas al deporte es la Composición Corporal. Esta misma posee implicaciones tanto para la función deportiva como para la salud. Un exceso de tejidos no-contráctiles (como el adiposo) altera la relación peso-potencia en actividades con desplazamientos horizontales y/o verticales².

El exceso de adiposidad intra-abdominal está asociado a factores de riesgo para la salud, como las enfermedades cardiovasculares y la diabetes no-insulina dependiente³.

Por otro lado una insuficiencia de consumo energético-proteico conduce a una disminución de la masa muscular (sarcopenia), hecho que conlleva una disminución de fuerza y de calidad de vida⁴.

Por esto es de vital importancia analizar más allá de las relaciones peso-talla y poder cuantificar los tres tejidos de mayor importancia en el campo de la salud y la actividad física: adiposo, muscular y óseo⁵.

La investigación de la composición corporal se centra en tres áreas interconectadas: el estudio de sus componentes y sus interrelaciones; el desarrollo y evaluación de métodos para su medición; y el estudio de los factores que la influyen⁶.

El cuerpo humano tiene más de 30 componentes, llamados a veces compartimentos, que se distribuyen en cinco niveles de organización: atómico, molecular, celular, tisular y corporal total. La suma de todos los componentes en cada región corporal equivale al peso corporal total (Figura 3.1)⁷⁻⁹.

ATÓMICO		MOLECULAR		CELULAR		TEJIDOS-SISTEMAS		CUERPO TOTAL	
N, Ca, P, K, Na, Cl		Lípidos		Masa celular	Adipocitos	Tejido adiposo		H O M B R E	
H	F F M	Agua				Células			Músculo esquelético
C				Líquido extracelular		Órganos y residuos			
O		Proteínas		Sólidos extracelulares		Esqueleto			
		Glucógeno							
		Mineral							

Figura 3.1 (Heymsfield, 2007)

Con respecto al dimorfismo en los varones es necesario entender que gran parte de la configuración ósea, desarrollo muscular, distribución de la grasa, etc. vendrá condicionado por la acción de la testosterona, mientras que en las mujeres, la acción hormonal (estrógenos) se considera mucho menos importante, siendo quizás, la genética, una variable más influyente en la composición corporal¹⁰.

La composición corporal condiciona en gran medida el rendimiento deportivo siendo en futbolistas la cantidad de grasa inversamente proporcional a *sprints* más rápidos¹¹. También está relacionada la grasa y la disminución de masa magra con un menor rendimiento deportivo y físico¹².

Múltiples han sido los métodos desarrollados para la valoración de la composición corporal, siendo la absorciometría dual fotónica de rayos X (DXA) en la actualidad una de las técnicas más ampliamente aplicadas. En la medición de la densidad del esqueleto axial y apendicular se obtiene información que, a través de su interpretación estadística, ha permitido correlacionar los valores de densidad mineral con el “riesgo y la prevalencia” de fracturas¹³⁻¹⁴.

3.1.1 Absorciometría dual fotónica de rayos X (DXA)

Esta técnica de estimación de la composición corporal forma parte de las denominadas técnicas indirectas por imagen.

Para deportistas, la absorciometría dual fotónica de rayos X tiene numerosas ventajas sobre otras técnicas de laboratorio debido a su rapidez, comodidad y porque la medición está mínimamente influenciada por la fluctuación de agua¹⁵.

Desde la introducción de esta técnica (DXA) en la escena clínica a finales de 1980 varios avances técnicos han afectado en gran medida al campo del análisis por imagen del tejido óseo y tejido blando. La principal aplicación de DXA es la medición de la densidad mineral ósea (por área) (aDMO) para el diagnóstico de la osteoporosis y de otras enfermedades óseas. Esta técnica proporciona mayor fiabilidad y precisión respecto a métodos anteriores, así como la capacidad de medir la aDMO en sitios preferenciales de fracturas osteoporóticas (fracturas de cadera, columna y porción distal del antebrazo)¹⁶.

Una aplicación secundaria aunque no despreciable de DXA es la valoración de la composición corporal. La medición de la grasa y de la masa libre de hueso. En los últimos años los principales avances tecnológicos de los sistemas de DXA fueron impulsados sobre todo por el uso clínico de DXA para diagnosticar la osteoporosis. La sustitución progresiva de los densitómetros con *pencil beam* (haz de lápiz) por los aparatos con *fan beam* (haz de abanico) al comienzo de 1990 permitió una mejor resolución y un menor tiempo de examen, aliviando la carga para el paciente y para el clínico. El avance más reciente en la tecnología DXA es la introducción de exámenes que proporcionan mejor resolución y calidad de imagen así como una cama con plataforma más ancha y un límite de peso mayor para acomodar la exploración a los individuos obesos. Si esos avances tecnológicos han afectado o no a la capacidad de DXA para valorar la composición corporal con exactitud (objetividad y precisión), no está claro¹⁶.

DXA se utiliza para medir la composición corporal total y regional, que incluye la estimación de la masa de tejido blando magro, la masa sin grasa (MLG), la masa de grasa (MG) y el contenido mineral óseo (CMO)¹³, por ello se asume un

modelo tricompartmental o tetracompartmental si se divide la masa magra en proteínas y agua (Figura 3.1.2). Esta técnica no se ve afectada por la ingesta de líquidos ni alimentos y, aunque son necesarios más estudios de validación para determinar las modificaciones por el estado de hidratación, es una técnica candidata a convertirse en patrón oro para la validación de la grasa corporal¹⁶.

Tiene poca variación inter e intraobservador, por lo que es de gran utilidad en estudios clínicos¹⁷.

Esta técnica usa dos haces de rayos X de distinta energías que cuando pasan a través del cuerpo se atenúan en diferente grado dependiendo de la cantidad y naturaleza del tejido¹⁸⁻¹⁹.

La dosis de radiación (menor de 1 mrem) es lo suficientemente pequeña como para que sea éticamente aceptable para su uso en niños y se utiliza a cualquier edad²⁰.

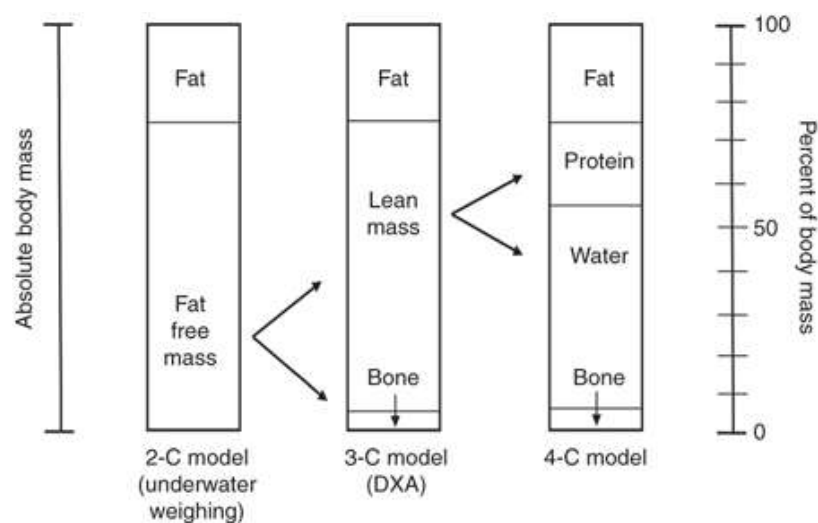


Figura 3.1.2 (Toombs, 2012)

3.1.2 Principios básicos de DXA

El principio fundamental de DXA es la medición de la transmisión de rayos X a través del cuerpo con baja y alta energía. La fuente genera un haz de rayos X, el cual consiste en partículas de fotones conducidas a través de energía electromagnética. Como los fotones atraviesan los tejidos del sujeto provocan una interacción física que llevará a cabo una reducción de la intensidad del rayo. La atenuación depende de la energía de los fotones y de la densidad y grosor de los tejidos humanos por los que atraviesa.

La medición del área (aDMO) para DXA está basada en la asunción de un modelo bicompartimental del cuerpo: los minerales del hueso y el tejido blando (músculo grasa, piel y agua), el cual tiene una menor densidad. El material de baja densidad (es decir tejidos blandos) permite el paso de más fotones a través de él, estos tejidos atenúan menos el haz de rayos X que el material de alta densidad como el hueso. Con el fin de determinar la cantidad de grasa y el tejido blando libre de grasa en el cuerpo, DXA mide la relación de atenuación de las dos energías de los fotones en los sitios que no contiene ningún hueso (generalmente el tejido blando puro que existe adyacente al hueso).

Los mayores avances tecnológicos han tenido lugar con la transmisión progresiva de los densitómetros de haz de lápiz (*Pencil-beam*) a los densitómetros de haz en abanico (*Fan-beam*).

El avance más reciente en la tecnología DXA fue la introducción de GE lunar iDXA, un densitómetro de haz en abanico de ángulo estrecho, con un mayor número de detectores, proporcionando una mejor resolución (1,05mm longitudinalmente y 0,6 mm lateralmente) y calidad de imagen. La resolución mejorada permite una mejor detección del borde óseo y posteriormente el desarrollo de algoritmos superiores para la evaluación de la composición corporal en comparación con los densitómetros anteriores¹⁶.

3.2 Análisis de la marcha humana

La marcha es un proceso de locomoción en el cual el cuerpo humano, en posición erguida, se mueve hacia delante, siendo su peso soportado alternativamente por ambas piernas²¹.

Plas define la marcha como un proceso de locomoción en el cual el cuerpo humano, en posición erguida, se mueve hacia delante, siendo su peso soportado alternativamente por ambas piernas²².

Al ser la marcha un proceso que cada persona aprende, no es de extrañar que cada una muestre en su desarrollo unas características propias que vienen dadas por múltiples factores: longitud de los segmentos del cuerpo, masa de los individuos, etc. Por otro lado estos segmentos deben ser puestos en movimiento por unas fibras musculares que también pueden ser de diferente longitud o grosor. De un mismo individuo puede variar su marcha en función de diferentes circunstancias como pueden ser el terreno en el que se mueve, el calzado que utiliza, la velocidad a la que camina o incluso el propio estado emocional²³.

Aunque el interés por estudiar la marcha humana tiene sus raíces en un pasado muy lejano, los primeros experimentos objetivos sobre la marcha humano los realizaron los hermanos Weber en Alemania a mediados del siglo XIX (1836). Hacia finales del siglo XIX, Marey desarrolló en Francia un método fotográfico para registrar secuencias temporales de fotografías: la cronofotografía. Mientras que Muybridge diseñó en EEUU un sistema de 12 cámaras para captar diferentes secuencias del movimiento humano, después de estudiarlo previamente en caballos. Inventó además el zoopraxiscopio²⁴.

En referencia a los primeros estudios cinéticos de la marcha, no podemos olvidar a Amar, quien en 1916 utilizó un dinamómetro de tipo plataforma de fuerza para medir variables de la marcha²⁵. Sin embargo, los primeros estudios realizados con plataformas de fuerzas fueron de Elftman en 1934^{26, 27}, quien analizó también el movimiento pendular de los brazos, inverso al de las piernas, que tiene lugar en la marcha. Ya a mediados del siglo XX (1950), Bresler y Frankel describieron las curvas de los tres componentes de las fuerzas de reacción del pie con el suelo²⁸.

Desde entonces hasta nuestros días, la tecnología en el campo de la captura de movimiento ha experimentado un gran cambio.

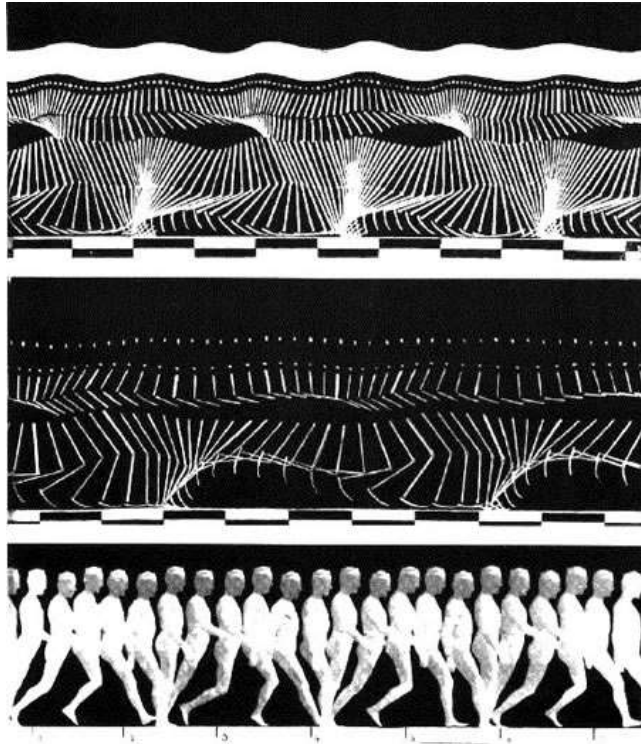


Figura 3.2 (Marey, 1870)

3.2.1 El ciclo de la marcha

El ciclo de la marcha comprende el lapso temporal entre dos eventos idénticos del movimiento de la marcha y es la unidad básica de medición de análisis de la marcha.

Para poder analizar un movimiento tan complejo se hace necesario dividirlo en diferentes fases. Por conveniencia se suele utilizar el primer contacto del pie con el suelo como el inicio del ciclo. Se divide en las siguientes fases principales: fase de apoyo (mientras el pie está en contacto con el suelo) y fase de oscilación (cuando ese mismo pie está en el aire y se prepara para el apoyo siguiente). La fase de apoyo comienza con el contacto inicial y finaliza con el despegue del antepié. La fase de oscilación transcurre desde el instante de despegue del antepié hasta el siguiente contacto con el suelo^{24, 29, 30}.

Al caminar, la fase de apoyo comprende más del 50% del ciclo, por lo que existen dos periodos de apoyo bipodal de 10% de duración cada uno (ver Figura 3.2.1). La duración relativa de cada una de estas fases depende fuertemente de la velocidad, aumentando la proporción de oscilación frente al apoyo al aumentar la velocidad, acortándose progresivamente los periodos de doble apoyo, es por ello, que durante la carrera no existe fase de doble apoyo^{27, 30, 31, 32}.

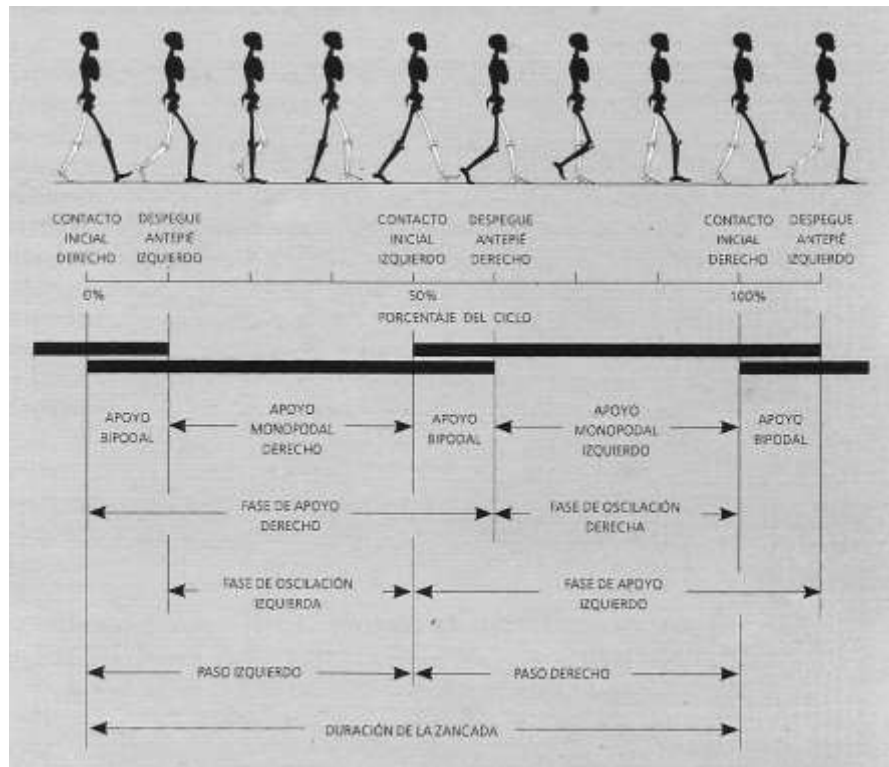


Figura 3.2.1 (Prat, 1999)

A continuación se exponen las fases de la marcha y sus principales características^{30, 31}.

1 – Contacto inicial (0-2%)

Coloca el miembro para iniciar el apoyo.

2 - Reacción a la carga (0-10%)

Absorbe el choque del pie, estabiliza la carga y mantiene la progresión de forma suave amortiguando el descenso del centro de gravedad.

3 – Apoyo monopodal inicial (10-30%)

Prograsa el cuerpo sobre la extremidad de soporte mientras se mantiene la estabilidad de todo el cuerpo sobre una sola pierna.

4 – Apoyo monopodal final (30-50%)

Esta fase se extiende desde el momento en el que el talón de la pierna de soporte se despega del suelo hasta el choque de talón de la pierna contralateral.

Esto quiere decir que la pierna oscilante sobrepasa la pierna de soporte hacia delante y hacia el lado en el que no hay apoyo.

5 – Pretraslación u oscilación (50-60%)

Prepara el miembro en apoyo para iniciar la traslación. Se ha elevado del suelo y debe separarse equilibradamente.

6 – Traslación inicial (60-73%)

Separa y eleva el pie del suelo, y hace avanzar el miembro que está suspendido en el aire a través de la triple flexión de la extremidad.

7 – Traslación intermedia (73-87%)

Hace avanzar el miembro en el aire, desde que el pie de referencia cruza al miembro que está en apoyo, hasta que se avanza y se coloca en posición vertical.

8 – Traslación final (87-100%)

Comienza desde la posición vertical del miembro de referencia, hasta que el talón (normalmente) toca con el suelo, iniciando la desaceleración de la extremidad. Completa el avance del miembro inferior y lo prepara para el apoyo.

Para poder comprender el ciclo de la marcha, se deben definir algunos conceptos básicos^{23, 27, 29, 30, 32, 34}:

- Periodo de apoyo: es el intervalo en el que solamente una pierna se encuentra en contacto con el suelo, lo que corresponde a la fase de oscilación de la otra pierna. Se mide en segundos.
- Periodo de traslación/oscilación: parte del ciclo en que el pie no contacta con el suelo, éste se desplaza de atrás hacia delante. Se mide en segundos.
- Doble apoyo: parte del ciclo en que ambos pies contactan simultáneamente con el suelo. Se mide en segundos.
- Apoyo unilateral: un solo pie está en contacto con el suelo. Se mide en segundos.

- Velocidad de marcha: distancia que recorre el cuerpo hacia delante en la unidad de tiempo. Se mide en metros por segundo. Está en relación con la longitud de las extremidades inferiores. Se calcula multiplicando la longitud de zancada por la cadencia y se divide entre 120.
- Cadencia de la marcha: es el número de ciclos o pasos por unidad de tiempo. Se mide en ciclos o pasos por minuto.
- Longitud del ciclo/zancada: distancia entre dos choques consecutivos de talón de un mismo pie. Se mide en metros.
- Longitud del paso: es la distancia media en el sentido del desplazamiento, que separa el apoyo inicial de un pie respecto al apoyo inicial del otro. La suma de la longitud de los dos pasos nos debe dar la longitud de zancada. Se mide en centímetros.
- Tiempo de paso: es el tiempo medido en segundos entre al apoyo del talón de un pie y el siguiente apoyo de talón del pie contralateral.
- Anchura del paso/amplitud de paso o base de sustentación: separación lateral entre los apoyos de ambos pies, normalmente medida entre los puntos medios de los talones.
- Ángulo del paso: ángulo entre la línea media del pie y la dirección de progresión.

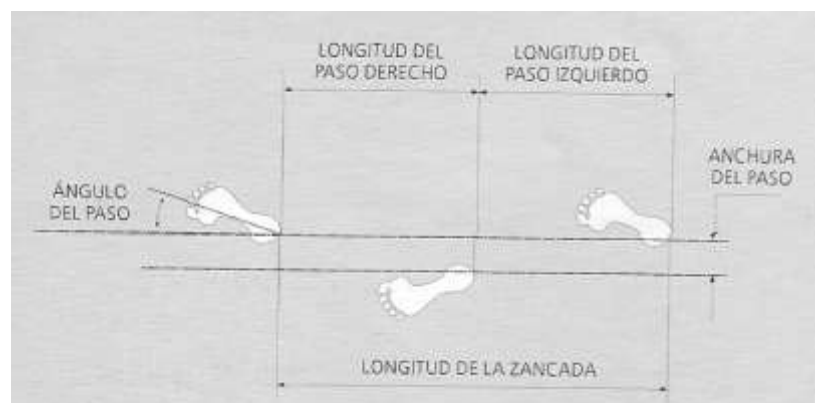


Figura 3.2.2 (Prat, 1999)

3.2.2 Mecanismos de optimización³⁰

La marcha es un movimiento armónico que se realiza, en condiciones normales, con un mínimo consumo energético. Los requisitos para una marcha normal son tres: estabilidad, progresión y conservación de la energía.

La estabilidad se consigue manteniendo el centro de gravedad dentro de la base de sustentación en todo momento. Durante el desarrollo de la marcha se debe permitir la progresión del centro de gravedad, el cual realiza un movimiento sinuoso pasando por el punto más elevado durante el apoyo unipodal y por el punto más bajo durante la fase de apoyo. En ese intervalo en el que el centro de gravedad se desplaza desde su punto más elevado al más bajo, la energía potencial se transforma en energía cinética.

Para mejorar el rendimiento de la marcha los mecanismos principales de conservación de la energía son dos: la minimización del desplazamiento del centro de gravedad y la transferencia activa y pasiva de energía.

Durante la marcha el cuerpo realiza un desplazamiento rítmico hacia arriba y hacia abajo (desplazamiento vertical del centro de gravedad), para estos movimientos el cuerpo precisa de un cierto consumo energético. El desplazamiento del centro de gravedad describe un movimiento sinusoidal, esto es debido a que este tipo de movimientos requieren menor consumo que los no sinusoidales.

También se producen desplazamientos laterales del centro de gravedad (alrededor de unos 5cm). El valgo fisiológico de rodilla y la aducción de cadera permiten reducir la amplitud de paso y por tanto disminuir el desplazamiento lateral de la pelvis.

Relacionado con los desplazamientos del centro de gravedad, se encuentran los desplazamientos del centro de presiones, que son aquellas fuerzas producidas sobre el pie, en la Figura 3.2.3 se puede observar el recorrido del centro de presiones en una marcha normal, siendo A una línea horizontal que se sitúa sobre la articulación del tobillo.



Figura 3.2.3 (Perry, 1992)

En la marcha normal, el centro de presión progresa desde el talón hasta el primer dedo como se ve en la figura. Viladot llevó a cabo un estudio en el que pudo observar que solo el 30% de los individuos poseían la forma clásica del paso (choque de talón, apoyo de talón, borde externo del pie y antepié, apoyo del antepié y despegue del dedo gordo). En el 70% de los casos restantes de desarrollo del paso, este tiene lugar según la forma indicada por Lelièvre (choque de talón, apoyo del talón y antepié, fugaz apoyo del borde externo, apoyo del antepié y despegue del dedo gordo) ^{29, 32}.



Figura 3.2.4 (Viladot Voegeli, 2001)

3.2.3 Métodos de estudio

Para el estudio de la marcha existen diferentes técnicas que se exponen a continuación^{23, 27}:

- Métodos cinemáticos: estudian la dinámica del movimiento sin ocuparse de las fuerzas que lo originan. Se utilizan sistemas como cinematografía, cinerradiología, acelerómetros, electrogoniómetros, etc.
- Métodos cinéticos: estudian las fuerzas que se producen durante la marcha en las tres direcciones del espacio, se registra con: plataformas de fuerzas (dinamométricas y piezoeléctricas), captosres fijos en el pie y baropodómetros.
- Métodos electromiográficos: estudian la actividad muscular durante la marcha por medio de la electromiografía dinámica (EMG).

Para llevar a cabo el análisis de la marcha en este estudio nos centraremos en los métodos cinéticos.

3.2.3.1 Estudio cinético

Las fuerzas que actúan en el cuerpo humano deben ser clasificadas en dos categorías: fuerzas externas y fuerzas internas³³.

- Las fuerzas externas son aquellas que representan todas las interacciones físicas entre el cuerpo y el entorno.
- Las fuerzas internas son, entre otras, aquellas que son producidas por los tejidos humanos como los músculos, y transmitidas por los ligamentos anexos a zonas de unión articular, etc. Para la medición de las fuerzas internas se requieren técnicas sofisticadas que a veces son invasivas, es por ello que se realizan estimaciones de estas fuerzas a través de diferentes variables del sujeto como pueden ser la masa, momentos de inercia, centro de gravedad, etc.

3.2.3.2 Plataformas dinamométricas

Se definen como superficies planas, cuya deformación debido a una fuerza, puede ser medida. La plataforma ideal sería rígida y muy inflexible, de tal forma que su deformación es imperceptible a la persona que realiza la actividad sobre ella. Para medir estos desplazamientos tan pequeños, deben estar equipadas con dispositivos sensores, como galgas extensiométricas, unidos a un equipo electrónico de amplificación y registro^{31, 34, 35}.

El centro de presión es el punto en el suelo a través del cual una sola fuerza resultante parece actuar, aunque en realidad la fuerza total se compone de pequeños vectores de fuerza innumerables, repartidas en un área finita en la superficie de la plataforma. En ella se encuentran la fuerza vertical, las fuerzas postero-anteriores y las laterales.

Debido que la fuerza de reacción es un vector tridimensional, sería preferible mostrarlo como tal a los efectos de la interpretación, sin embargo, la forma más común de representarlo es a través de la siguiente figura, donde los tres componentes de la fuerza son representados durante el tiempo de la marcha.

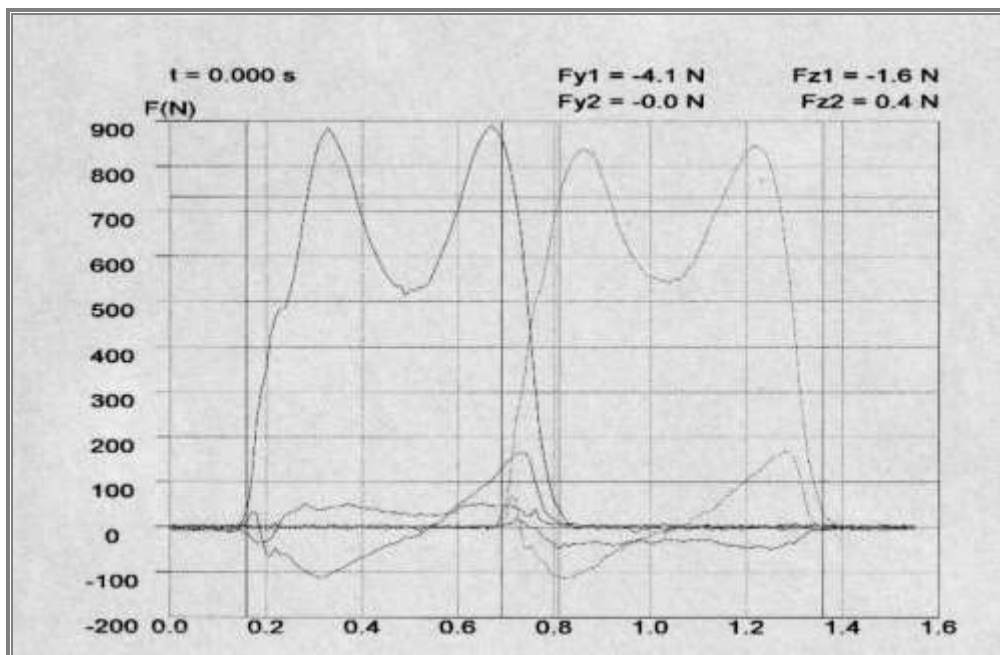


Figura 3.2.5 (Viel, 1984)

Cuando un individuo camina sobre una plataforma dinamométrica, la fuerza ejercida por el pie sobre la misma se reparte entre los cuatro captadores (ver Figura 3.2.6), que generan las correspondientes señales electrónicas en función de la carga asumida por cada uno de ellos.

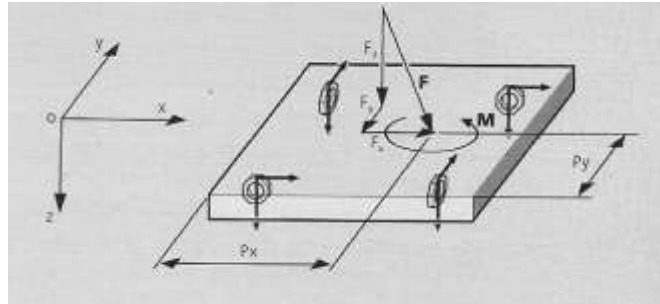


Figura 3.2.6 (Prat, 1999)

La existencia de una fase de apoyo bipodal en la marcha humana aconseja la utilización de dos plataformas, con objeto de registrar independientemente la fuerza de reacción de cada uno de los pies. La ubicación relativa más extendida puede observarse en la Figura 3.2.7.

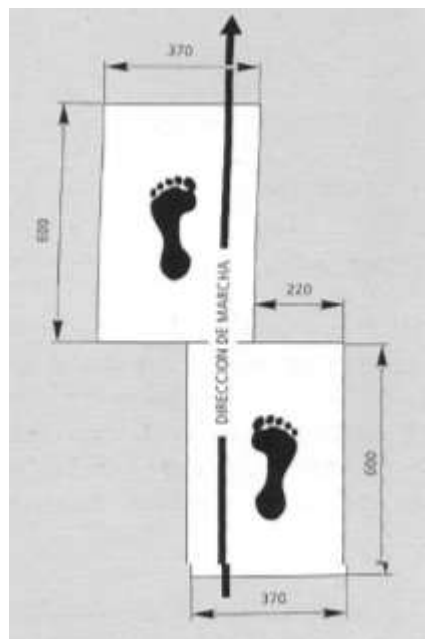


Figura 3.2.7 (Prat, 1999)

Fuerzas de reacción vertical^{23, 31}

Esta fuerza representa los desplazamientos verticales del centro de gravedad. En el choque de talón aumenta la fuerza de reacción del suelo que corresponde con el primer pico de la gráfica, mientras que cuando el antepié realiza el último contacto antes de pasar a la fase de oscilación o traslación aparece el segundo pico de la curva (ver Figura 3.2.8).

De estos datos podemos deducir que la energía potencial del cuerpo alcanza su valor máximo (80% del peso corporal) en el momento de máxima elevación, y que al descender el cuerpo esta energía se transforma en cinética que es empleada para acelerar el cuerpo hacia delante.

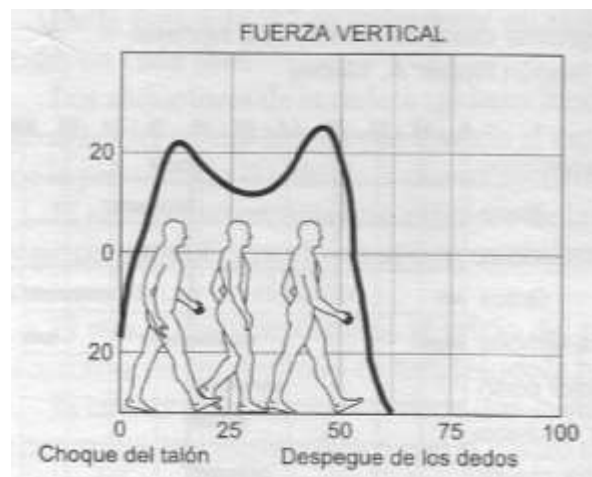


Figura 3.2.8 (Viladot Voegeli, 2001)

Fuerzas de reacción longitudinal²³

Esta fuerza representa las fuerzas de frenado y propulsión. En el momento del choque del talón se produce una fuerza de frenado que coincide con el descenso del centro de gravedad, mientras que en el momento de despegue del antepié se produce una fuerza de aceleración hacia delante a la vez que se eleva en centro de gravedad (ver Figura 3.2.9).

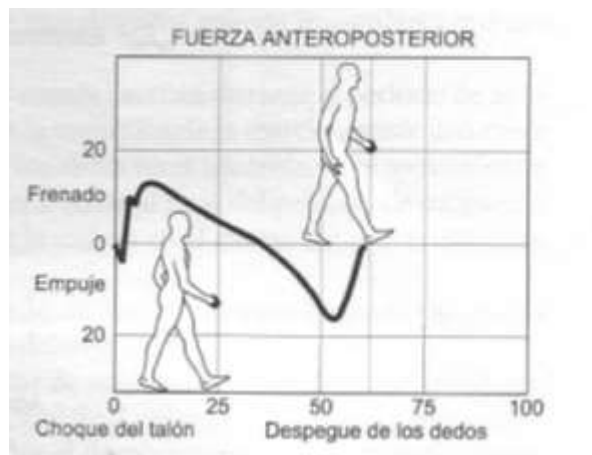


Figura 3.2.9 (Viladot Voegeli, 2001)

Fuerzas de reacción laterales^{23, 31}

Esta fuerza como se refleja en la Figura 3.2.10, es de muy baja intensidad (menos del 10% del peso corporal) y representa los desplazamientos laterales del centro de gravedad. Estos movimientos laterales son más frecuentes y amplios en ancianos y en niños cuando la marcha se encuentra alterada y existe una inestabilidad en la misma o cuando la marcha se encuentra en desarrollo, debido a ello y al desplazamiento lateral del centro de gravedad, son más propensos a caídas.

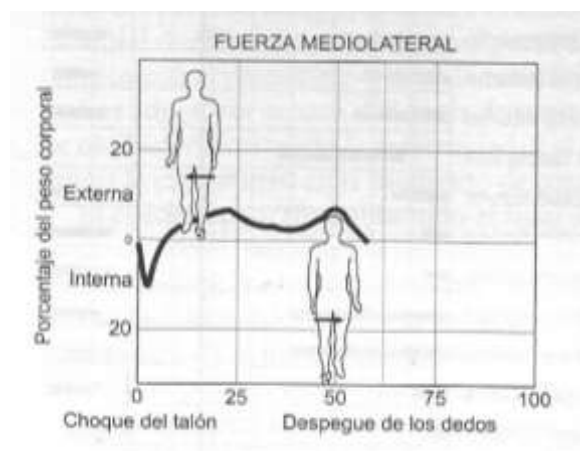


Figura 3.2.10 (Viladot Voegeli, 2001)

Acción muscular durante la marcha³⁶

Mediante de la electromiografía se ha podido estudiar la actividad muscular del individuo en movimiento. Se ha comprobado que la mayoría de los principales grupos musculares de la extremidad inferior están activos durante el ciclo de marcha, sobre todo al principio y final del periodo de apoyo y principio y final del periodo de oscilación/traslación. Esto es debido a la presencia de aceleraciones y desaceleraciones de la extremidad y las transferencias de peso de un miembro a otro.

Como podemos ver en la Figura 3.2.11 hay músculos más activos en función del momento del ciclo en el que nos encontremos.

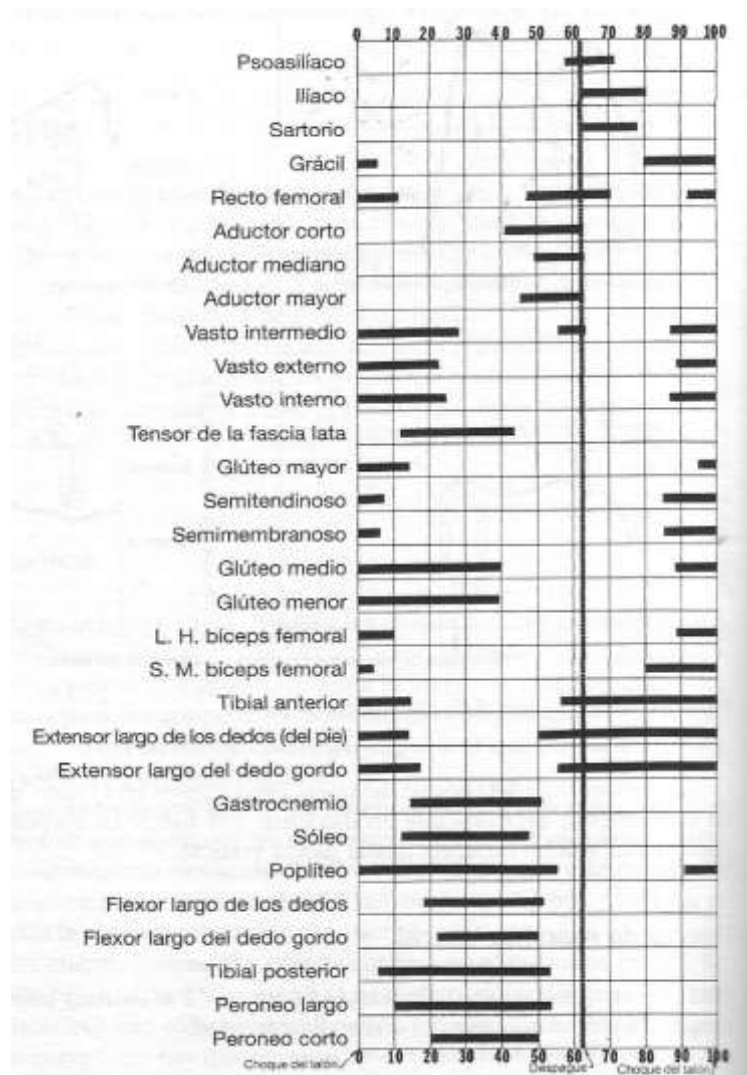


Figura 3.2.11 (Mann, 1979)

4. MATERIAL Y MÉTODOS

4.1 Selección de sujetos¹

La muestra está integrada por 16 sujetos que realizan una actividad deportiva intensa y regular, cuyo rango de edad se distribuye entre 19 y 25 años. La mitad de los sujetos son varones y la mitad mujeres.

Los participantes fueron reclutados por el autor del estudio y conducidos al Laboratorio de marcha y al Laboratorio de densitometría del área docente de Anatomía y Embriología humana, integrada en el Departamento de Cirugía y Ciencias Médicas Sociales de la Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud de la Universidad de Alcalá de Henares.

Previo a cualquier prueba, a los sujetos se les realizó una entrevista para determinar si cumplían los requisitos y criterios para su inclusión. En esta entrevista se realizaron preguntas sobre su vida diaria y deportiva (actividad física que realizan, cuántas horas y frecuencia, ocio y descanso), patologías, características clínicas y una valoración fisioterapéutica para determinar su inclusión en el estudio.

Dentro de la valoración de fisioterapia se siguió el procedimiento de análisis del examen físico característico del registro de fisioterapia adaptado a las necesidades del estudio:

- Observación estática: postura, asimetrías, etc.
- Observación dinámica: marcha normal y rápida del sujeto.
- Movilización: de miembros superiores e inferiores para comprobar la fluidez del movimiento y que este no interfiera en la marcha del sujeto.
- Balance articular y muscular: siguiendo los valores establecidos como normales en el movimiento activo y pasivo de las articulaciones de miembros superiores e inferiores, se comprobó que no hubiera alteración en los rangos articulares. Las pruebas de fuerza propuestas por Daniels y Kendall's fueron la base sobre las que se objetivó una correcta función de la musculatura.
- Dolor: puesto de manifiesto en la entrevista y a través de la palpación.

Los sujetos que no cumplían las características exigidas en la entrevista fueron excluidos.

	Edad (años)	Masa (kg)	Altura (m)	IMC (kg/m ²)
Mujeres	19-25	47,8-60,2	1,51-1,66	19,95-23,61
Varones	20-25	63-78,6	1,64-1,79	23,04-25,89

Tabla 4.1. Características de los sujetos del estudio

4.2 Criterios de inclusión y exclusión

Con el objetivo de conseguir una población lo más homogénea posible, se establecieron una serie de criterios de inclusión y exclusión para el estudio que garantizaran así unos sujetos con características similares. A continuación se muestran los criterios detallados:

Criterios de inclusión
<ul style="list-style-type: none">• Sujetos sanos deportistas comprendidos entre 19-25 años de edad.• Sujetos masculinos y femeninos.• Actividad aeróbica 2 horas y 3 días/semana.• Hábitos de vida saludables: consumo de tabaco, café y alcohol de manera esporádica.• Características antropométricas mesomórficas, peso y altura medios.• Entrevista de preselección.

Tabla 4.2. Criterios de inclusión

Criterios de exclusión
<ul style="list-style-type: none">• Incumplimiento de los criterios de inclusión.• Sujetos con cualquier patología musculoesquelética u orgánica grave hace 24 meses a la realización del estudio.• Sujetos sedentarios.• Anomalías físicas, psíquica o cognitiva que impida la correcta realización de pruebas de marcha y densitometría.• Dolores agudos o crónicos.• Asimetrías en los miembros inferiores.• Práctica de deportes exclusivamente acuáticos.

Tabla 4.3. Criterios de exclusión

4.3 Material y procedimientos¹

Los participantes seleccionados acuden al laboratorio de marcha donde fueron informados de las pruebas que debían realizar y se les entregó unos informes de consentimiento de acuerdo con los requerimientos éticos que deben cumplirse en los estudios con sujetos humanos (ver anexos). De los 16 participantes que fueron seleccionados, no todos completaron el estudio al no poder realizar alguna de las pruebas (de marcha o densitometría) por motivos de disponibilidad, de forma que el estudio completo se llevó a cabo finalmente con 14 participantes.

Tras ser incluidos en el grupo de varones o mujeres, ambos grupos se sometieron a la misma metodología de pruebas en el laboratorio de marcha y en el laboratorio densitometría de la Unidad docente de Anatomía y Embriología Humana de la Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud de la Universidad de Alcalá.

Los resultados de los participantes fueron comparados con sujetos sedentarios que fueron incluidos en un Trabajo de Fin de Grado el año pasado.

4.4 Prueba de densitometría¹

Se utilizó el densitómetro óseo de la Unidad docente de Anatomía y Embriología humana de la Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud de Alcalá de Henares.

Se usó esta técnica debido a su buena precisión, gran disponibilidad y baja dosis de radiación. DXA es una herramienta de diagnóstico útil para la composición corporal¹⁶.

Con la técnica DXA se obtienen por separado los valores del contenido mineral óseo (CMO), la densidad mineral ósea (DMO) y de la masa corporal blanda libre de grasa y hueso (MM), así como los valores de la masa corporal grasa (MG); a partir de los cuales se puede calcular la verdadera fracción de masa ósea de un individuo en los estudios de Investigación y Sujetos/Partes Pequeñas. En los estudios de Cuerpo Entero además de los valores de CMO, DMO, MM, MG también se incluyen los valores equivalentes de las ecuaciones de Siri y Brozek de los estudios de Hidrodensitometría.

4.4.1 Densitómetro Norland XR-800 Quick Scan

Se utilizó este modelo (Norland XR-800 Quick Scan) de cuerpo completo con todas las opciones (Columna AP, columna lateral, cadera análisis avanzado, doble cadera, antebrazo, cuerpo completo y composición corporal) y accesorios existentes, software Illuminatus en castellano.

El Densitómetro Norland XR-800 sigue los parámetros de la tecnología DXA. Consta de un haz de tipo *Pencil Beam*, es decir, un haz lineal y doble energía fotónica.

Este densitómetro cuenta con la siguiente tecnología:

- SimulCont™ garantiza una mayor precisión en la medición de la DMO. El sistema dual de cristales de centelleo de INa se utilizan para detectar por separado los dos picos de energía de los Rx.
- El sistema de filtración dinámica DynaFlux™ es otra de las innovaciones Norland que complementa al diseño del haz lineal. Norland ha diseñado un método mediante el cual se optimiza la detección de fotones independientemente del grosor y las características del paciente. Para ello se utiliza un filtro de samario. La selección de este filtro evita la saturación y la infraexposición de la cadena de detectores.
- La tecnología QuicScan™ cuenta con una avanzada combinación de equipos mecánicos e informáticos, cuyo resultado es una mínima exposición del paciente y tiempos de barrido muy bajos, mientras que se mantiene una precisión y exactitud óptimas.

El sistema de posicionamiento para marcar o definir puntos de referencia anatómicos que utiliza este densitómetro es un indicador de rayo láser de baja potencia que se sitúa en el brazo del escáner.

La calibración del densitómetro se ejecuta previamente a las pruebas a través de dos fantasmas, esto se realiza para compensar los desplazamientos espectrales en la fuente de Rayos X. Se incluye un fantoma de calibración antropomórfico de hidroxiapatita de calcio para hueso y otro fantoma de QA para tejido graso (como

estándar químico: ácidos grasos de cadena larga), así como para masa magra (como estándar químico: solución salina de NaCl 9%)¹.

La dosis de radiación (menor de 1 mrem) es lo suficientemente pequeña como para que sea éticamente aceptable para su uso en niños y se utiliza a cualquier edad salvo en mujeres gestantes²⁰. La dosis de radiación para el operador es similar o menor a un metro del densitómetro.

Durante la prueba se deben evitar objetos metálicos debido al falso aumento que proporcionan sobre la densidad.



Figura 4.2 Imagen del densitómetro

4.4.2 Técnica de registro

Para la recogida de datos del estudio, se comenzó con dos mediciones antropométricas de la talla y la masa.

La talla de los participantes se midió mediante el uso de un estadiómetro portátil de una altura máxima de 2.10 m y un margen de error de 0.001 m. Para su medición, los sujetos debían permanecer de pie, con los pies juntos, los talones, glúteos y parte superior de la espalda en contacto con la escala y la cabeza en el plano de Francfort³⁷.

El peso corporal se midió a través de una báscula portátil con una capacidad máxima de 100 kg y un margen de error de 100 g. Antes de pesarse, los participantes debían equiparse con pantalón corto y quitarse los zapatos³⁷.

A continuación se llevó a cabo una entrevista para tomar los datos de identificación personal. Se retiraba el calzado y los sujetos se colocaban sobre el densitómetro en posición de decúbito supino y correctamente centrado en él³⁸. El paciente permaneció tumbado sobre la mesa de exploración, bien alineado sin objetos en los bolsillos. Se le pidió que no mirara a la luz del láser y que permaneciera quieto durante la prueba.

En esta posición, el punto de partida se marca a 1 cm directamente sobre el vértex de la cabeza del paciente. Se marcó un segundo punto de referencia sobre el abdomen en una zona de máximo grosor de tejido blando. El sujeto debe permanecer inmóvil. Es importante que el participante no hable hasta que el brazo del escáner haya pasado el abdomen, evitando también que mire al rayo¹.

Esta prueba se realizó en un tiempo promedio de 10 minutos por participante.

Para evaluar los efectos de la distribución de la masa en el cuerpo, se establecieron manualmente ocho regiones: cabeza, pecho, medio-torso, pelvis, brazo derecho, brazo izquierdo, pierna derecha y pierna izquierda (ver Figura 4.2).

Fueron seleccionadas diferentes zonas del cuerpo en función de las normas establecidas conforme a lo dispuesto por el software del equipo.

El eje superior de la caja del cursor del tórax debe situarse justo por debajo del mentón; los ejes laterales deben situarse por encima de la unión escápulo-humeral, ajustándolos lateralmente en la región de menor tejido corporal entre el miembro superior y el tronco. El eje inferior justo en el límite caudal de la caja torácica.

El eje superior de la caja de la pelvis se sitúa justo encima de la cresta iliaca, sus ejes laterales se posicionan para incluir la totalidad de la pelvis y tanto como se pueda el tejido blando circundante, sin intersectar con el tejido de ninguna parte del miembro superior. El eje inferior se posiciona justo debajo de la sínfisis del pubis, procurando que los bordes laterales pasen sobre el cuello lateral.

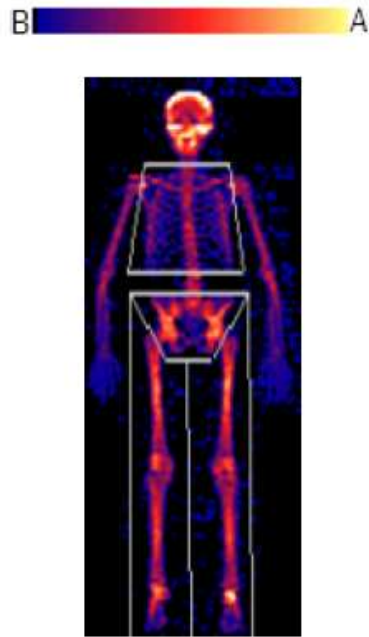


Figura 4.2 Imagen de la composición corporal obtenida por el densitómetro. La variación de colores expresa el contenido mineral óseo (azul=menor contenido, amarillo=mayor contenido).

4.5 Prueba de marcha

Para realizar esta prueba se utilizaron 2 plataformas dinamométricas equipadas con el programa DINASCAN, fabricado por Biomática Sistemas SA y desarrollado por Instituto Biomecánico de Valencia (IBV).

El programa DINASCAN registra y analiza las fuerzas de acción-reacción generadas en la superficie de contacto del pie con el suelo a través de plataformas dinamométricas. En este estudio se utilizaron plataformas de tamaño unitario 600x400mm, conectadas entre sí.

4.5.1 Plataformas dinamométricas

Una plataforma dinamométrica es un instrumento electrónico que permite la medida y el análisis de la fuerza de reacción que un individuo ejerce sobre el suelo en la ejecución de un movimiento determinado.

Para garantizar el correcto funcionamiento de las plataformas e impedir su deslizamiento o apoyo no uniforme, es conveniente fijarlas rígidamente al suelo, ya que la plataforma ideal sería rígida y muy inextensible, de tal forma que su desplazamiento es imperceptible a la persona que realiza la actividad sobre ella. Sin embargo, la solución más habitual consiste en la construcción de un pequeño foso, con unas dimensiones adecuadas y una cimentación especial para el anclaje del instrumento^{27, 39}.

Para este estudio se utilizaron plataformas con estructura rectangular soportada sobre cuatro captadores de fuerza tridimensionales, instrumentados mediante galgas extensiométricas. Se midieron las tres componentes de las fuerzas aplicadas sobre ellas, así como sus coordenadas; estas fuerzas de reacción del pie contra el suelo pueden descomponerse en una fuerza perpendicular al suelo y dos fuerzas paralelas al mismo y perpendiculares entre sí, representadas a través de los tres ejes: X, Y, y Z.

Las señales generadas por la plataforma de fuerza fueron amplificadas para su multiplexado y conversión digital a través de un ordenador para su posterior manejo¹.

Como se puede ver en la Figura 4.3 las curvas corresponden a los tres ejes componentes de las fuerzas en función del tiempo, producidas por un sujeto caminando sobre las plataformas.

La configuración de las gráficas está normalizada con respecto al peso del sujeto y la duración total de los apoyos.

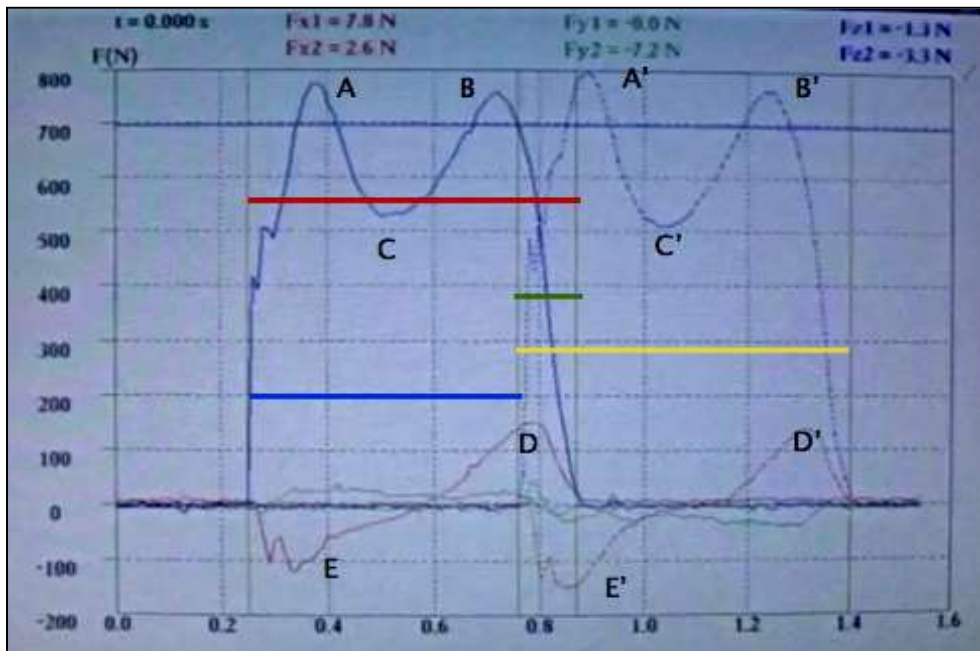


Figura 4.3 Gráfica fuerza-tiempo de la marcha normal. F (Newtons) – T (segundos)

- : Tiempo de apoyo derecho
- : Tiempo de apoyo izquierdo
- : Tiempo de doble apoyo
- : Tiempo de paso

- A : Fuerza vertical de apoyo de talón pie derecho
- A' : Fuerza vertical de apoyo de talón pie izquierdo
- B : Fuerza vertical de despegue pie derecho
- B' : Fuerza vertical de despegue pie izquierdo
- C : Fuerza vertical de valle pie derecho
- C' : Fuerza vertical de valle pie izquierdo
- D : Fuerza horizontal Eje X Máxima pie derecho
- D' : Fuerza horizontal Eje X Máxima pie izquierdo
- E : Fuerza horizontal Eje X mínima pie derecho
- E' : Fuerza horizontal Eje X mínima pie izquierdo

4.5.2 Técnica de registro

Previamente a realizar la medición definitiva de la marcha de cada individuo, cada participante realizó, con los pies descalzos (vistiendo calcetines), unas series de prueba para habituarse a caminar por las plataformas de fuerza sin mirar al suelo y así evitar que el sujeto adecuara el paso para hacerlo coincidir con el centro de cada plataforma.

Para obtener mejores resultados es importante que los sujetos se adecúen a la correcta ejecución de la prueba de marcha para evitar que la intranquilidad/ansiedad pueda afectar al resultado de la misma^{40, 41}.

El método de registro de marcha fue el siguiente: el individuo con los pies juntos y descalzo se posicionó sobre las plataformas para calibrarlas y registrar su peso. Posteriormente cada sujeto caminó en varias ocasiones sobre las plataformas, registrando tres pruebas realizadas a su velocidad de marcha normal. Cada participante realizó tres registros a velocidad de marcha normal.

Las dimensiones del pasillo de marcha deben ser suficientes para lograr la ejecución de más de un ciclo completo de la marcha a cadencia libre. Esta práctica es la más habitual en los Laboratorios de marcha para obtener datos lo más objetivos posible, con esto se logra evitar la variabilidad que puede existir al realizar solo una prueba. Con las tres pruebas de marcha de cada individuo se realizaron las medias de cada uno de los parámetros obtenidos, obteniendo así un solo resultado de cada parámetro.

Para realizar la media, se utilizó el programa Microsoft Excel a la hora de recoger los datos ya que permite crear funciones "Promedio" que obtienen el valor medio de las celdas seleccionadas guardando todos los decimales y así evitar el error de perder precisión en los datos mostrados.



Figura 4.4 Pasillo de marcha

4.6 Parámetros analizados^{1, 42}

Se han obtenido 88 variables para cada uno de los pacientes, de las cuales 50 corresponden a parámetros clínicos (obtenidos mediante la prueba de densitometría por absorción dual de rayos X) y las 38 restantes a parámetros de marcha normal (obtenidos mediante plataformas dinamométricas).

Las variables superan ampliamente en número a los participantes del estudio, es por ello que se realizó un análisis de las componentes principales de las variables obtenidas para seleccionar las más representativas y de esta forma poder explicar mejor la posible interrelación entre las mismas.

El análisis de componentes principales es un método estadístico multivariante de simplificación o reducción de una tabla de casos-variables con datos cuantitativos, para obtener otra de menor número de variables, combinación lineal de las

primitivas, que se denominan componentes principales o factores, cuya posterior interpretación permitirá un análisis más simple del problema estudiado.

Su aplicación es directa sobre cualquier conjunto de variables, a las que considera en bloque, sin que el investigador haya previamente establecido jerarquías entre ellas (variables dependiente, independientes, etc.), ni necesite comprobar la normalidad de su distribución.

Esta prueba permite describir de un modo sintético, la estructura y las interrelaciones de las variables originales en el fenómeno que se estudia a partir de los componentes obtenidos que, naturalmente habrá que interpretar y nombrar.

Los componentes principales son usados para estudiar las relaciones que se presentan entre X variables correlacionadas (que miden información en común). De esta forma se puede transformar el conjunto de variables en otro conjunto de nuevas variables no correlacionadas entre sí (que no tenga repetición o redundancia en la información) llamado conjunto de componentes principales.

En el apartado de parámetros analizados se detallan los datos que se recogieron de cada sujeto y sus magnitudes. Los datos fueron recogidos a través del programa Microsoft Excel, para posteriormente analizar sus correlaciones con los datos obtenidos en la prueba de marcha. La estadística se realizó mediante el programa StatGraphics.

La covarianza es una medida de la variabilidad común de dos variables (crecimiento de ambas al tiempo o crecimiento de una y decrecimiento de la otra), pero está afectada por las unidades en las que cada variable se mide. Así pues, es necesario definir una medida de la relación entre dos variables y que no esté afectada por los cambios de unidad de medida. Una forma de conseguir este objetivo es dividir la covarianza por el producto de las desviaciones típicas de cada variable, ya que así se obtiene un coeficiente adimensional (r) que se denomina coeficiente de correlación lineal de Pearson: $r = S_{xy} / (S_x \cdot S_y)$.

Este coeficiente permite conocer si entre dos variables cuantitativas existe una asociación lineal. En la correlación, ambas variables juegan un papel simétrico (no se puede diferenciar entre una variable dependiente o independiente).

Por ello, para el estudio se ha utilizado el coeficiente de relación de Pearson (r) que cumple las siguientes propiedades:

- Mide el grado de asociación lineal.
- Carece de unidades de medida (es adimensional)
- Es invariante para transformaciones lineales (cambio de origen y escala) de las variables.
- Solo toma valores comprendidos entre -1 y +1:
 - Cuando (r) está próximo a 1, se tiene que existe una relación lineal muy fuerte entre las variables.
 - Cuando (r) es aproximadamente o igual a 0, puede afirmarse que no existe relación lineal entre ambas variables. Se dice en este caso que las variables son incorrelacionadas.

De todas las variables obtenidas en las pruebas, se estudiaron las 11 más representativas. Dentro de las cuales 6 son componentes principales:

- CP Densidad Mineral Ósea
- CP Contenido Mineral Óseo
- CP Masa Magra
- CP Masa Grasa
- CP Fuerzas Verticales
- CP Tiempos de las Fuerzas Verticales

No se tiene en cuenta, para las correlaciones, ni las fuerzas horizontales ni los tiempos correspondientes a éstas, ya que son de escasa magnitud y muy variables dependiendo de cada sujeto.

Las otras 5 restantes son variables que no corresponden a ningún grupo en sí, pero tienen un valor significativo en el estudio y son:

- LONGPD: Longitud de paso derecho
- TAPD: Tiempo de apoyo derecho
- TPASOD: Tiempo de paso derecho
- TDAP: Tiempo de doble apoyo
- VELPD: Velocidad de paso derecho

Se eligieron principalmente algunos parámetros espacio-temporales asociados al pie derecho debido a los condicionantes del pasillo de marcha, ya que al haber solo dos plataformas, en algunas variables (longitud, velocidad de paso y tiempo) solo se puede obtener los datos del paso derecho.

Para facilitar la comprensión y el seguimiento del estudio, vamos a exponer las abreviaturas y denominaciones completas empleadas en cada uno de los parámetros considerados durante todo el estudio. Éstas se encuentran además en el índice de abreviaturas.

Parámetros clínicos (Densitometría DXA)

Edad

Masa

Altura

Sexo

ÍMC: Índice de Masa corporal

MCT: Masa Corporal total

GT: Porcentaje de Grasa Total

GSiri: Porcentaje de Grasa de Siri EBA

GBrozek: Porcentaje de Grasa de Brozek EBA

CMOT/MLG: Contenido Mineral Óseo total en porcentaje de Masa Libre de Grasa

DMOT: Densidad Mineral Ósea Total

DMOC: Densidad Mineral Ósea de la Cabeza

DMOP: Densidad Mineral Ósea del Pecho

DMOMT: Densidad Mineral Ósea del Medio Torso

DMOPV: Densidad Mineral Ósea de la Pelvis

DMOPI: Densidad Mineral Ósea de la Pierna Izquierda

DMOPD: Densidad Mineral Ósea de la Pierna Derecha

DMOBI: Densidad Mineral Ósea del Brazo Izquierdo

DMOBD: Densidad Mineral Ósea del Brazo Derecho

CMOT: Contenido Mineral Óseo Total

CMOC: Contenido Mineral Óseo de la Cabeza

CMOP: Contenido Mineral Óseo del Pecho

CMOMT: Contenido Mineral Óseo del Medio Torso

CMOPV: Contenido Mineral Óseo de la Pelvis

CMOPI: Contenido Mineral Óseo de la Pierna Izquierda

CMOPD: Contenido Mineral Óseo de la Pierna Derecha

CMOBI: Contenido Mineral Óseo del Brazo Izquierdo

CMOBD: Contenido Mineral Óseo del Brazo Derecho

AT: Área Total

AC: Área de la Cabeza

AP: Área del Pecho

AMT: Área del Medio Torso

APV: Área de la Pelvis
API: Área de la Pierna Izquierda
APD: Área de la Pierna Derecha
ABI: Área del Brazo Izquierdo
ABD: Área del Brazo Derecho
MMT: Masa Magra Total
MMC: Masa Magra de la Cabeza
MMP: Masa Magra del Pecho
MMMT: Masa Magra del Medio Torso
MMPV: Masa Magra de la Pelvis
MMPI: Masa Magra de la Pierna Izquierda
MMPD: Masa Magra de la Pierna Derecha
MMBI: Masa Magra del Brazo Izquierdo
MMBD: Masa Magra del Brazo Derecho
MGT: Masa Grasa Total
MGC: Masa Grasa de la Cabeza
MGP: Masa Grasa del Pecho
MCMT: Masa Grasa del Medio Torso
MCPV: Masa Grasa de la Pelvis
MGPI: Masa Grasa de la Pierna Izquierda
MGPD: Masa Grasa de la Pierna Derecha
MGBI: Masa Grasa del Brazo Izquierdo
MGBD: Masa Grasa del Brazo Derecho

Parámetros de la marcha (plataformas dinamométricas)

TAPD: Tiempo de Apoyo Pie Derecho

LONGPD: Longitud Paso Pie Derecho

VELPD: Velocidad Paso Pie Derecho

TPASOD: Tiempo Paso Pie Derecho

TDAP: Tiempo Doble Apoyo

FVID: Fuerza Vertical Impacto Pie Derecho

TFVID: Tiempo Fuerza Vertical Impacto Pie Derecho

FVAPD: Fuerza Vertical Apoyo de Talón Pie Derecho

TFVAPD: Tiempo Fuerza Vertical Apoyo de Talón Pie Derecho

FVVD: Fuerza Vertical Valle Pie Derecho

TFVVD: Tiempo Fuerza Vertical Valle Pie Derecho

FVDD: Fuerza Vertical Despegue Pie Derecho

TFVDD: Tiempo Fuerza Vertical Despegue Pie Derecho

TFHXmD: Tiempo Fuerza Horizontal Eje X mínima Pie Derecho

TFHXMD: Tiempo Fuerza Horizontal Eje X Máxima Pie derecho

FHXMD: Fuerza Horizontal Eje X Máxima Pie Derecho

TFHYmD: Tiempo Fuerza Horizontal Eje Y mínima Pie Derecho

FHYmD: Fuerza Horizontal Eje Y mínima Pie Derecho

TFHYMD: Tiempo Fuerza Horizontal Eje Y Máxima Pie Derecho

FHYMD: Fuerza Horizontal Eje Y Máxima Pie Derecho

TAPI: Tiempo Apoyo Pie Izquierdo

FVII: Fuerza Vertical Impacto Pie Izquierdo

TFVII: Tiempo Fuerza Vertical Impacto Pie Izquierdo
FVAPI: Fuerza Vertical Apoyo Talón Pie Izquierdo
TFVAPI: Tiempo Fuerza Vertical Apoyo Talón Pie Izquierdo
FVVI: Fuerza Vertical Valle Pie Izquierdo
TFVVI: Tiempo Fuerza Vertical Valle Pie Izquierdo
FVDI: Fuerza Vertical Despegue Pie Izquierdo
TFVDI: Tiempo Fuerza Vertical Despegue Pie Izquierdo
FHXml: Fuerza Horizontal Eje X mínima Pie Izquierdo
TFHXml: Tiempo Fuerza Horizontal Eje X mínima Pie Izquierdo
FHXMI: Fuerza Horizontal Eje X Máxima Pie Izquierdo
TFHXMI: Tiempo Fuerza Horizontal Eje X Máxima Pie Izquierdo
FHYml: Fuerza Vertical Horizontal Eje Y mínima Pie Izquierdo
TFHYml: Tiempo Fuerza Horizontal Eje Y mínima Pie Izquierdo
FHYMI: Fuerza Horizontal Eje Y Máxima Pie Izquierdo
TFHYMI: Tiempo Fuerza Horizontal Eje Y Máxima Pie Izquierdo

Componentes principales:

CP_DMO: Contenido Principal Densidad Mineral Ósea
CP_CMO: Contenido Principal Contenido Mineral Óseo
CP_MM: Contenido Principal Masa Magra
CP_MG: Contenido Principal Masa Grasa
CP_F: Contenido Principal Fuerzas Verticales
CP_T: Contenido Principal Tiempos de las Fuerzas Verticales

4.6.1 Parámetros de la densitometría¹

MCT: Es la masa corporal total expresada en gramos.

GT: Es el contenido de grasa expresada como un porcentaje de la masa corporal. Porcentaje de Grasa Total $MGT/MCT \times 100$ en %.

G Siri: Es la determinación de la grasa en % por inmersión en agua. $[(4.95/Dt)-4.142] \times 100$. Donde Dt =Densidad Total.

G Brozek EBA: Es la determinación de la grasa en % por inmersión en agua. $[(4.57/Dt)-4.142] \times 100$. Donde Dt =Densidad Total.

Índice porcentual CMOT/MLG: Es el contenido mineral óseo expresado como porcentaje de la masa magra. Es el contenido mineral óseo expresado como porcentaje del tejido blando libre de grasa total. $CMOT/MLG \times 100$ en %.

DMOT: Densidad Mineral Total: corresponde al contenido mineral óseo por unidad de área. Se expresa en g/cm^2 . $CMOT/cm^2$.

CMOTT: Contenido mineral óseo total. Se define como la suma total de hueso determinada por la absorciometría y expresada en gramos.

MMT: Corresponde a la masa de tejido muscular expresada en gramos. Tejido blanco no graso total = $MCT - (CMOT + MGT)$.

MGT: Es la masa total de grasa corporal expresada en gramos. Masa grasa total = $MCT - (CMOT + MMT)$.

4.6.2 Parámetros de la marcha¹

Explicamos los parámetros de la marcha obtenidos directamente por el programa DINASCAN que utilizan las plataformas de fuerza. Por ello puede aparecer alguna diferencia en las dimensiones utilizadas como modelo estándar en el análisis de marcha y las ofrecidas por el programa.

Tiempo de Apoyo del Pie derecho e izquierdo: es el tiempo en segundos en el que el pie está en contacto con la plataforma primera y segunda respectivamente (ver Figura 4.5).

Longitud de paso: se define como la distancia en milímetros (mm) existente entre el apoyo de talón de un pie y el siguiente apoyo de talón del pie contralateral.

Velocidad de paso: el cociente del espacio recorrido en milímetros en un paso, entre el tiempo que se ejecuta el paso en segundos.

Tiempo de paso: es el tiempo en segundos medido entre el apoyo de talón de un pie y el siguiente apoyo de talón del pie contralateral (Ver Figura 4.5).

Tiempo de doble apoyo: es el tiempo en segundos que transcurre desde que comienza a apoyar el pie izquierdo en la segunda placa hasta que se despegó el pie derecho de la primera plataforma (Ver Figura 4.5).

Fuerza vertical impacto: es el instante en el que se produce el pico de impacto o choque directo (en segundos) y la magnitud de éste en Newtons. Si en la gráfica no se aprecia el pico de impacto, los valores coinciden con los de apoyo de talón. Corresponde al contacto del pie con la plataforma que genera una fuerza inicial de impacto (Ver Figura 4.5).

Tiempo fuerza vertical de impacto: es el tiempo en el cual se produce la fuerza descrita anteriormente. Se mide en segundos.

Fuerza vertical apoyo de talón: es el primer pico que presenta la curva de las fuerzas verticales frente al tiempo. Se expresa su magnitud en porcentaje del peso corporal en Newtons y el tiempo que tiene lugar en segundos. Corresponde al apoyo de la porción posterior de la planta del pie (Ver Figura 4.5).

Tiempo fuerza vertical apoyo de talón: es el tiempo en el cual se produce la fuerza descrita anteriormente. Se mide en segundos.

Fuerza vertical valle: es el valor mínimo en la curva de las fuerzas de reacción pie-suelo vertical, situándose entre los picos de apoyo de talón y despegue. Se expresa en Newtons (Ver Figura 4.5).

Tiempo fuerza vertical valle: es el tiempo en el cual se produce la fuerza descrita anteriormente. Se mide en segundos.

Fuerza vertical despegue: es el segundo pico o máximo de las fuerzas verticales, señalando así mismo su magnitud en Newtons y el tiempo en segundos. Corresponde al impulso de las cabezas metatarsianas del pie o despegue del pie con el suelo (Ver Figura 4.5).

Tiempo fuerza vertical despegue: es el tiempo en el cual se produce una fuerza descrita anteriormente. Se mide en segundos.

Fuerza Horizontal eje X mínima: representa las fuerzas que aparecen en sentido antero-posterior, o en el sentido de avance de la marcha. Corresponde a la fuerza de frenado o primer componente de estas fuerzas, que aparece con signo negativo, se expresa en Newtons (Ver Figura 4.5).

Tiempo Fuerza Horizontal eje X mínima: es el tiempo en el cual se produce la fuerza descrita anteriormente, se mide en segundos.

Fuerza Horizontal Eje X Máxima: representa las fuerzas que aparecen en el sentido anteroposterior, o en el sentido del avance de la marcha. Corresponde a la fuerza de impulso, aceleración-propulsión o segundo componente de estas fuerzas, que aparece con signo positivo. Se expresa en Newtons (Ver Figura 4.5).

Tiempo Fuerza Horizontal Eje X Máxima: es el tiempo en el cual se produce la fuerza descrita anteriormente. Se mide en segundos.

La configuración de las gráficas está normalizada con respecto al peso del sujeto y la duración total de los apoyos.

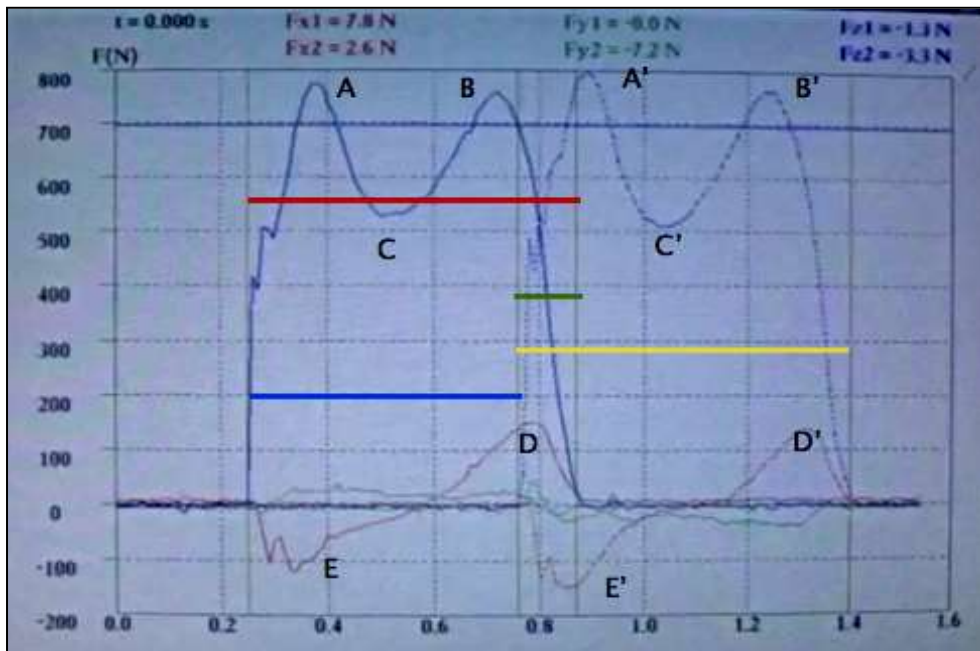


Figura 4.5 Gráfica fuerza-tiempo de la marcha normal. F (Newtons) – T (segundos)

- : Tiempo de apoyo derecho
- : Tiempo de apoyo izquierdo
- : Tiempo de doble apoyo
- : Tiempo de paso

- A : Fuerza vertical de apoyo de talón pie derecho
- A' : Fuerza vertical de apoyo de talón pie izquierdo
- B : Fuerza vertical de despegue pie derecho
- B' : Fuerza vertical de despegue pie izquierdo
- C : Fuerza vertical de valle pie derecho
- C' : Fuerza vertical de valle pie izquierdo
- D : Fuerza horizontal Eje X Máxima pie derecho
- D' : Fuerza horizontal Eje X Máxima pie izquierdo
- E : Fuerza horizontal Eje X mínima pie derecho
- E' : Fuerza horizontal Eje X mínima pie izquierdo

5. RESULTADOS

A continuación se exponen los resultados obtenidos de los parámetros analizados. Los resultados se presentan de la siguiente forma:

- En forma de gráficas que comparan los valores promedios de las diferentes variables que conforman las diferentes componentes principales obtenidas entre ambos géneros. De esta forma, se visualizan las gráficas de los grupos de parámetros pertenecientes a la densidad mineral ósea, contenido mineral óseo, masa magra, masa grasa, fuerzas verticales y tiempos de las fuerzas verticales. De estas gráficas se dilucida la tendencia entre ambos géneros para la variable que se compara.
- Del análisis de correlaciones, se muestran los coeficientes (r) de correlación de cada una de las variables con todas las demás para la muestra total, para el grupo de varones y mujeres por separado. Cuando (r) esté próximo a 1, existe una relación lineal muy fuerte entre las variables, mientras que cuando (r) es aproximadamente o igual a 0 se puede afirmar que no existe relación lineal entre ambas variables. Coeficiente de correlación significativa.
- Se ofrece la representación gráfica de las correlaciones para la muestra total de las 11 variables más significativas, siendo estas las descritas en el apartado de parámetros analizados: CP_DM, CP_CMO, CP_MM, CP_MG, CP_F, CP_T, TAPD, LONGPD, VELPD, TPASOD, TDAP.
- Se adjunta al final del trabajo, las desviaciones típicas totales de cada uno de los componentes principales.

Se separan los sujetos por género, representados los varones por puntos de color rojo y las mujeres con puntos de color azul.

5.1 Gráficas comparativas en género

Las gráficas muestran en el eje X los valores promedio para cada parámetro en ambos géneros. Se visualizan los varones con la letra “V” (varones) y color azul, y a las mujeres con la letra “M” (mujeres) y color rojo. En el eje Y, se define el rango de valores sobre los que oscilan las variables que se comparan.

Densidad Mineral Ósea (DMO)

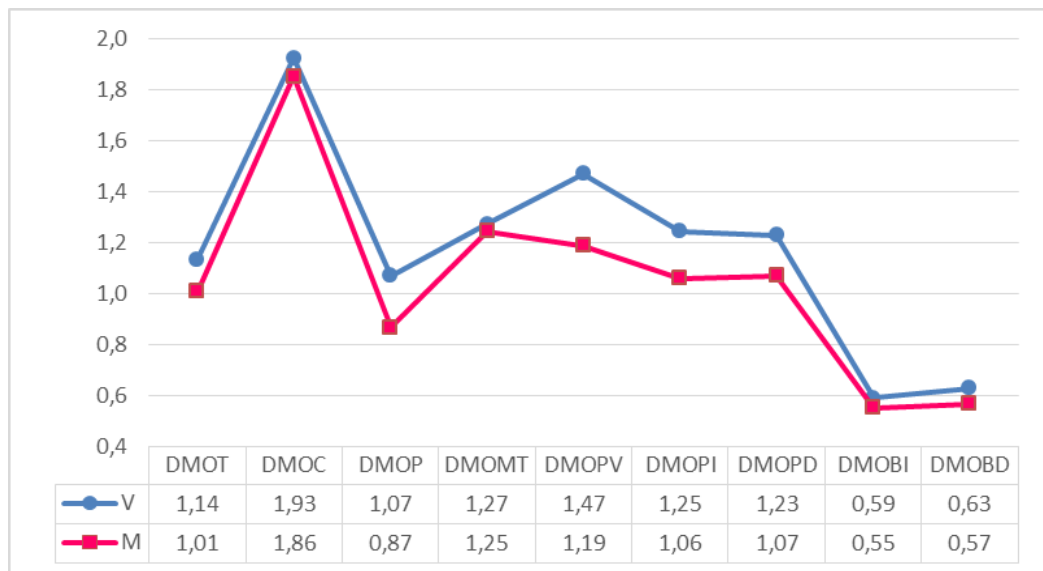


Figura 5.1 Gráfica comparativa de la DMO entre hombres y mujeres

Como se aprecia en la gráfica los valores promedio de los varones superan en todas las variables a los de las mujeres.

Se observa una tendencia en la cual los valores promedio de los varones superan a los de las mujeres en todas las variables.

Contenido mineral óseo

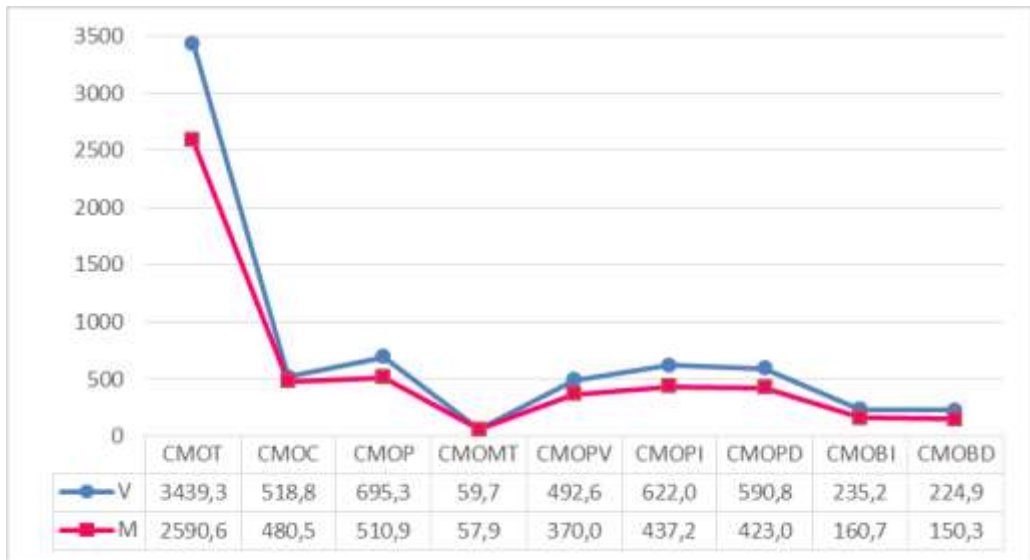


Figura 5.2 Gráfica comparativa del CMO entre hombres y mujeres

Se observa en la gráfica una tendencia en la cual los valores promedios de los varones superan siempre a los de las mujeres. Los promedios se aproximan en gran medida en el contenido mineral óseo de la cabeza y del medio torso.

A continuación se muestra la misma gráfica fraccionada en dos partes para apreciar de manera más significativa las diferencias en cada una de sus variables entre ambos géneros.

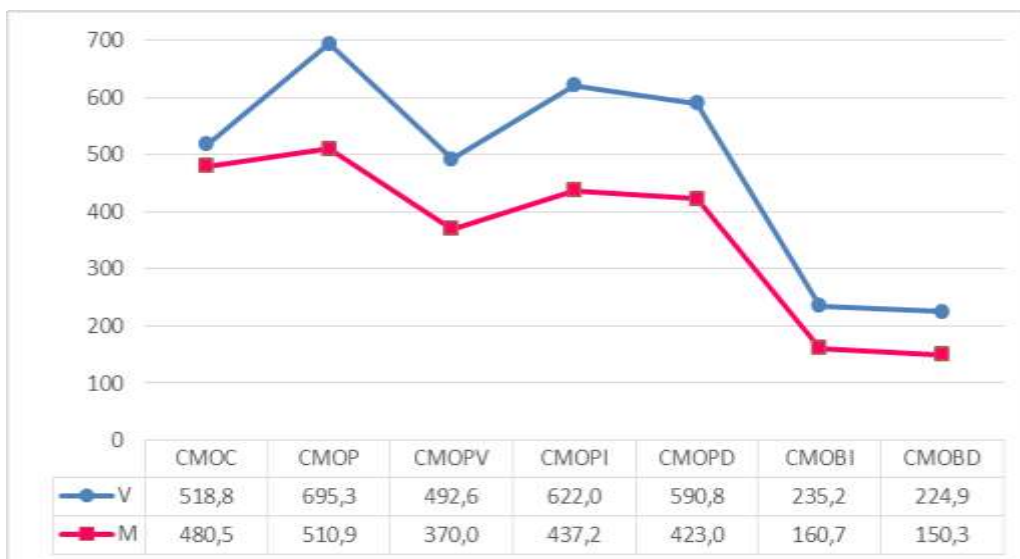


Figura 5.3 Gráfica comparativa del CMO entre hombres y mujeres en ampliación 1



Figura 5.4 Gráfica comparativa del CMO entre hombres y mujeres en ampliación 2

Masa magra



Figura 5.5 Gráfica comparativa de masa magra entre hombres y mujeres

Como se aprecia en la gráfica los valores promedio de los varones superan ampliamente a los de las mujeres en todas las variables de la masa magra. Especialmente llamativo es el valor de los hombres en el pecho, donde casi se dobla el promedio femenino.

Se observa una amplia tendencia en la que los valores promedio de los hombres superan a los de las mujeres.

Masa grasa



Figura 5.6 Gráfica comparativa de masa grasa entre hombres y mujeres

Como muestra la gráfica los valores promedio de las mujeres son más elevados que los de los hombres. La masa grasa de la cabeza es la única variable en que el valor promedio de los hombres supera al de las mujeres.

Se observa por tanto, una clara tendencia a que en las mujeres el valor promedio de las variables supera casi siempre al de los hombres.

Fuerzas verticales



Figura 5.7 Gráfica comparativa de fuerzas verticales entre hombres y mujeres

La gráfica muestra la tendencia a que los valores promedio de las fuerzas verticales de los hombres superen ampliamente los de las mujeres en todas las variables, a pesar de estar éstas normalizadas con el peso.

Las fuerzas horizontales y sus tiempos son de escasa magnitud y muy variables, no se han analizado y por esta razón no se objetiva su tendencia

Tiempos de las fuerzas verticales

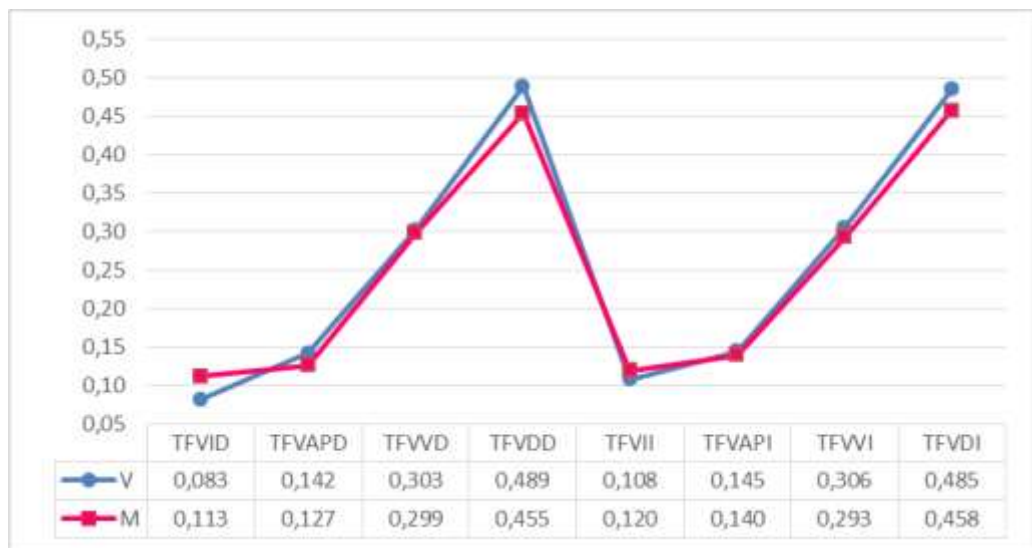


Figura 5.8 Gráfica comparativa de tiempos de fuerzas verticales entre hombres y mujeres

Para los tiempos de las fuerzas verticales, los valores promedio de los varones superan levemente a los de las mujeres en todas las variables excepto en los tiempos de la fuerza vertical de impacto de ambos pies.

La gráfica pone de manifiesto en todas las variables la gran similitud en los valores promedios de ambos sexos.


5.2 Análisis de los coeficientes de correlación

En las siguientes tablas se observan, tanto en la columna, como en la fila maestra, las variables estudiadas. Cada celda muestra el coeficiente de correlación entre la variable de su columna maestra, con la de su fila maestra, dejando la celda en blanco cuando coincide la variable de la columna maestra con la variable de la fila maestra.

Coeficientes de correlación para la muestra total

En la tabla se muestran los coeficientes correspondientes a cada relación entre las variables para la muestra total de participantes (hombres + mujeres).

Correlaciones Pearson Producto-Momento

-1,0  1,0

CP_DM		0,92	0,45	-0,32	0,63	0,07	0,23	-0,02	-0,19	0,25	0,15
CP_CMO	0,92		0,72	-0,51	0,82	0,16	0,36	0,28	-0,10	0,37	0,29
CP_MM	0,45	0,72		-0,54	0,93	0,34	0,55	0,59	-0,06	0,56	0,48
CP_MG	-0,32	-0,51	-0,54		-0,36	0,08	-0,09	-0,45	-0,13	-0,12	-0,10
CP_FV	0,63	0,82	0,93	-0,36		0,32	0,49	0,49	-0,08	0,49	0,42
CP_T	0,07	0,16	0,34	0,08	0,32		0,93	-0,10	-0,58	0,91	0,82
TAPD	0,23	0,36	0,55	-0,09	0,49	0,93		0,03	-0,56	0,98	0,90
LONGPD	-0,02	0,28	0,59	-0,45	0,49	-0,10	0,03		0,69	0,04	0,04
VELPD	-0,19	-0,10	-0,06	-0,13	-0,08	-0,58	-0,56	0,69		-0,56	-0,55
TPASOD	0,25	0,37	0,56	-0,12	0,49	0,91	0,98	0,04	-0,56		0,87
TDAP	0,15	0,29	0,48	-0,10	0,42	0,82	0,90	0,04	-0,55	0,87	
	CP_DM	CP_CMO	CP_MM	CP_MG	CP_FV	CP_T	TAPD	LONGPD	VELPD	TPASOD	TDAP

Tabla 5.1 Coeficientes de correlación de la muestra total

Coeficientes de correlación para la muestra de varones

En esta tabla se muestran los coeficientes correspondientes a la relación entre cada una de las variables con todas las demás, para la submuestra de varones.

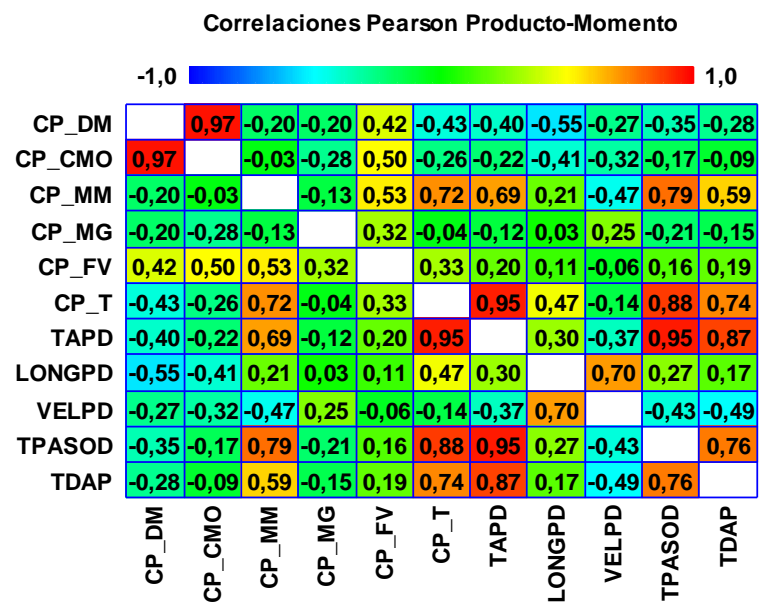


Tabla 5.2 Coeficientes de correlación de la muestra de hombres

Coeficientes de correlación para la muestra de mujeres

En esta tabla se muestran los coeficientes correspondientes a la relación entre cada una de las variables con todas las demás, para la submuestra de mujeres.

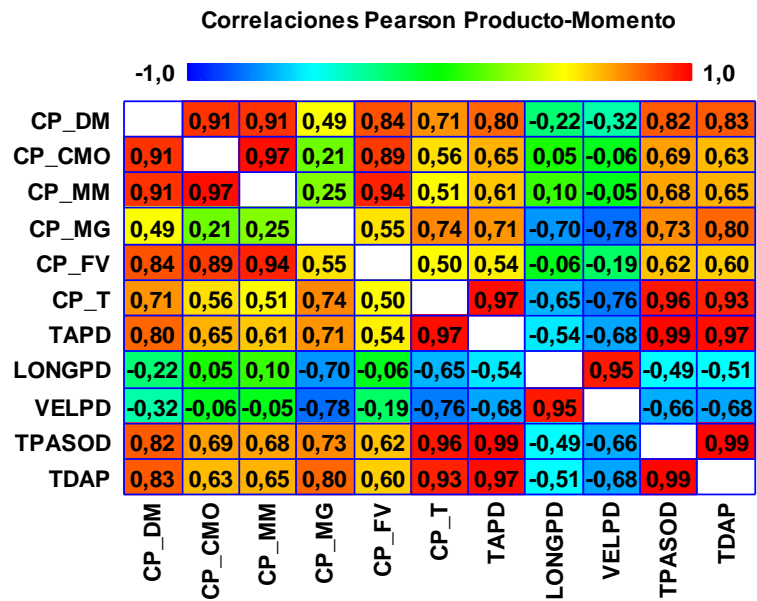


Tabla 5.3 Coeficientes de correlación de la muestra de mujeres

5.3 Representación gráfica de las correlaciones

La gráfica muestra las correlaciones entre las 11 variables más significativas para la muestra total. Las variables se representan con líneas azules y su abreviatura. Cuánto más próximas están las líneas de dos o más variables, más correlación existirá entre las mismas. Así mismo, en esta gráfica también se muestra la distribución de los sujetos por género, estando los hombres señalizados con puntos rojos y las mujeres con puntos azules.

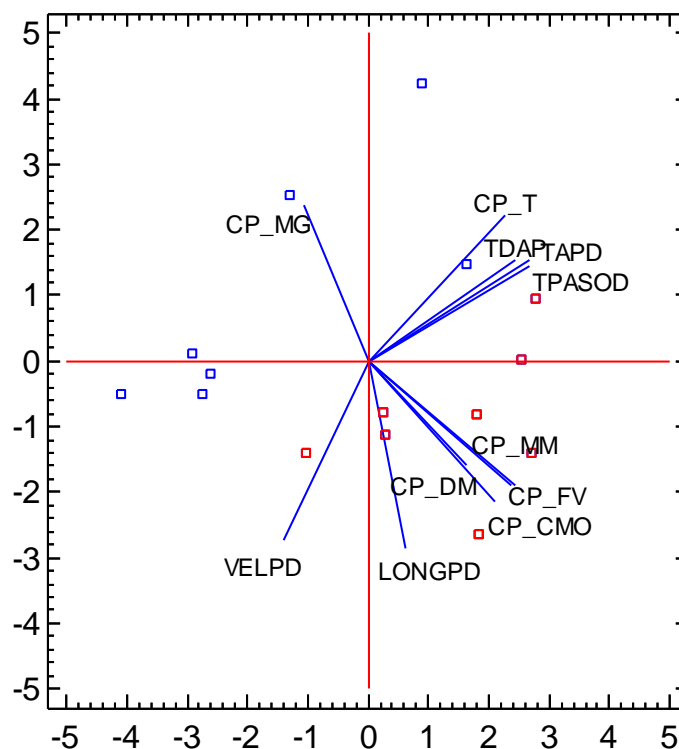


Tabla 5.4 Gráfica correlación muestra total

Se observa como el componente principal de las fuerzas verticales (CP_FV) presenta una alta correlación con el componente principal del contenido mineral óseo (CP_CMO), de la densidad mineral ósea (CP_DM) y el de la masa magra (CP_MM).

Existe también una correlación directa entre la longitud de paso (LONGP) con el componente de la masa magra (CP_MM) y estos a su vez tienen correlación con los otros tres componentes citados anteriormente.

Como era de esperar todos los tiempos están muy correlacionados entre sí (TDAP, TAPD, TPASOD, CP_T) y presentan una relación inversa con la velocidad de paso (VELPD) como se aprecia en la gráfica.

Dentro de los componentes del análisis corporal, la masa grasa (CP_MG) es la que menos relaciones presenta con el resto de variables.

Se observa que la gran mayoría de los hombres se disponen en los valores positivos de la gráfica, mientras que la mayoría de mujeres se distribuyen en los valores negativos.

Al analizar el coeficiente de correlación, en la muestra total, se observa relación significativa entre:

- El contenido mineral óseo (CP_CMO) y los componentes principales de la masa magra, (CP_MM), la masa grasa (CP_MG) y las fuerzas verticales (CP_F).

Al analizar el coeficiente de correlación, en el grupo mujeres, se observa relación significativa entre:

- El contenido mineral óseo (CP_CMO), el componente principal de la masa magra (CP_MM) y de las fuerzas verticales (CP_F). Lo que no hemos podido poner de manifiesto en el grupo de varones.

6. DISCUSIÓN

No se ha encontrado ningún trabajo publicado que correlacione la densitometría con la cinética de la marcha en este grupo de edad. Aunque existen publicaciones que si estudian y determinan esta relación con sujetos adultos de más edad y sobre todo en ancianos^{37, 43-48}.

La masa grasa es el componente más variable de la composición corporal y tiene un rango de variabilidad interindividual entre el 6-60% del peso corporal total⁴⁹.

Las mujeres tienen una proporción significativamente más alta de masa grasa que de masa magra y mayores depósitos de masa grasa en las extremidades.

Al comparar los valores medios por género en las edades de nuestro estudio observamos la tendencia de que los varones presentan mayor contenido mineral óseo, densidad mineral ósea, masa magra y menor masa grasa, lo que viene corroborado con los estudios de Aguado Henche y colaboradores^{50, 51, 52}.

Estudios previos^{35, 53} están de acuerdo con nuestros resultados: los hombres ejercen mayor fuerza (independientemente de la masa corporal total) de reacción del pie contra el suelo durante la marcha que las mujeres. Esto se correlaciona con su mayor densidad mineral y contenido mineral óseo con respecto a las mujeres, ya que estas dos variables están altamente relacionadas con las fuerzas verticales.

Al estudiar la relación del contenido mineral óseo con la masa magra y la masa grasa se encuentra un estudio en el que Tsutsumi⁵⁴ afirma que el coeficiente de correlación entre el contenido mineral óseo y la masa magra tiende a ser mayor en varones que en mujeres, hecho que viene a apoyar los resultados de nuestra tendencia. De la misma manera y en chicos adolescentes italianos de ambos sexos, la masa magra se relaciona más fuertemente con el contenido mineral óseo que con la masa grasa⁵⁵.

No se obtienen datos representativos que permitan analizar y comparar los valores de las fuerzas horizontales, no es posible determinar una tendencia de éstas y sus tiempos debido a su alta variabilidad y su escasa magnitud.

La relación directa entre longitud de paso y la masa magra puede fundamentarse en la tendencia de los hombres en los que se objetivan valores más altos de masa

magra que en las mujeres, presentando también mayor longitud de paso en las diferentes pruebas de marcha.

Los resultados obtenidos en nuestro trabajo son muy similares a los de un trabajo anterior realizado con las mismas condiciones en personas sedentarias¹. No pudiendo demostrar que la práctica de ejercicio regular modifica la tendencia de las relaciones entre la morfología y la función de los sujetos.

Deberíamos ampliar la muestra y realizar una comparación estricta de valores para poner de manifiesto si existen o no diferencias en el comportamiento de los jóvenes sedentarios y los que realizan actividad física regular.

7. CONCLUSIÓN

A la hora de interpretar los resultados es muy importante tener en cuenta que este estudio es sólo un análisis preliminar de uno mayor que seguirá las mismas pautas con la misma población diana y la misma metodología pero con un grupo de muestra más amplio para poder establecer unos valores de normalidad.

A pesar de haber encontrado correlaciones significativas entre las diferentes variables, esto debe interpretarse como una tendencia, para en trabajos posteriores poder comprobar su veracidad y aplicabilidad.

En jóvenes que realizan ejercicio físico de forma regular, se observa una clara tendencia, a unos valores más altos de los hombres en relación con las mujeres para todos los parámetros cinéticos de la marcha y de la composición corporal, excepto en los de la masa grasa, donde los valores de las mujeres superan a los de los hombres.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Maza PF. Estudio preliminar y de la relación entre la composición corporal y la cinética de la marcha en una población joven (Trabajo fin de grado). Alcalá de Henares; 2014
2. Norton, K.I., et al. Assessing the body fat of athletes. Australian Journal of Science and Medicine in Sport. 1994. 26 (1/2): 6-13.
3. Seidell, J. Relationship of total and regional body composition to morbidity and mortality. In Human Body Composition. (A. Roche, S. Heymsfield, and T. Lohman). Human Kinetics, Champaign. 1996. 345-351.
4. Lukaski, H. Estimation of muscle mass. In Human Body Composition (A. Roche, S. Heymsfield, and T. Lohman). Human Kinetics, Champaign. 1996. 109-125.
5. Hoolway, F. La composición corporal: Mitos y presunciones científicas. URL disponible en: <http://nutrinfo.com.ar>.
6. Wang ZM, Pierson RN, Heymsfield SB. The five models: a new approach to organizing body-composition research. Am J Clin Nutri 1992; 56: 19-28.
7. Wang ZM, Heshka S, Pierson RN, Heymsfield SB. Systematic organization of body composition methodology: overview with emphasis on component-based methods. Am J Clin Nutr 1995; 61: 457-465.
8. Pietrobelli A, Wang ZM, Heymsfield SB. Techniques used in measuring human body composition. Curr Opin Clin Nutr Metad Care 1998; 1: 439-448.
9. Heymsfield SB, Matthews D. Body composition: Research and clinical advances-1993 A.S.P.E.N. Research workshop. JPEN 1994; 18: 91-103.
10. Arrighi A. Dimorfismo sexual humano. Revista de la Asociación Médica Argentina. 2012; 125: 9-18.
11. Ostojic S. Seasonal alterations in body composition and sprint performance of elite soccer players. American Society of Exercise Physiologists 2003; 6:24-27.
12. Sternfeld B, Ngo L, Satariano WA, Tager IB. Associations of Body Composition with Physical performance and self-reported Functional Limitation in Elderly Men and Women. American Journal of Epidemiology. 2000; 156:1-12.
13. Heymsfield SB, Lohman TG, Wang ZM, Going SB. Composición corporal. 2ª Ed. México: McGraw-Hill Internamericana Editores S.A; 2007.
14. Mazess RB, Barden HS, Etinger M. Bone density of the radius, spine and proximal femur in osteoporosis. J bone Min Res. 1988; 3:13-18.

15. Ackland T et al. Current Status of Body Composition Assessment in Sport. *Sports Med* 2012; 42 (3): 227-249.
16. Toombs RJ, Ducher G, Shepherd JA, De Souza MJ. The Impact of Recent Technological Advances on the Trueness and Precision of DXA to Assess Body composition. *Obesity Journal*. 2012; 20: 30-39.
17. Aguado HS. Estudio de la proporcionalidad evolutiva de los compartimentos del cuerpo humano (Tesis Doctoral). Alcalá de Henares: Universidad de Alcalá; 2003.
18. Davies PSW. Body composition assessment. *Arch Dis Child* 1993; 69: 337-338.
19. Venkataraman PS, Ahluwalia BW. Total bone mineral content and body composition by X-ray densitometry in newborns. *Pediatrics* 1992; 90: 767-770.
20. Salle BL, Glorieux FX. Assessment of bone mineral content in infants; the new age. *Acta Paediatr* 1993; 82: 708-710.
21. Inman VT, Ralston HJ, Todd F. Human walking. Berkeley: Williams & Wilkins; 1981.
22. Plas F, Viel E, Blanc Y. La marcha humana. Barcelona. Masson; 1984.
23. Viladot VA. Lecciones básicas de biomecánica del aparato locomotor. Barcelona: Springer; 2001.
24. Pérez SP, Llana BS. Biomecánica básica aplicada a la actividad física y el deporte. Barcelona: Paidotribo; 2015.
25. Amar J. Trottoir dynamographique. *Comptes Rendus de L'Academie des Sciences*. 1919; 163: 130-132.
26. Elftman HO. A cinematic study of the distribution of pressure in the human foot. *Anat Record*. 1934; 59: 481-491.
27. Prat PJ et al. Biomecánica de la marcha humana normal y patológica. Valencia: Instituto de Biomecánica de Valencia; 1999.
28. Bresler B, Frankel JP. The forces and moments in the leg during level walking. *Trans Am Soc Mechanic Eng*. 1950; 72: 27-36.
29. Whittle WM. Gait Analysis: An introduction. London: Butterworth Heinemann; 1993.
30. Miralles Marrero R, Miralles Rull I. Biomecánica clínica de los tejidos y las articulaciones del aparato locomotor. 2ª Ed. Barcelona: Masson; 2005.

31. Perry J. Gait Analysis. Normal and pathological Function. New York: Slack Incorporated; 1992.
32. Rose J, Gamble JG. Human Walking. 2ª Ed. Baltimore, Maryland: Williams & Wilkins; 1994.
33. Capozzo A. Gait analysis methodology. Human Movement Science. 1984; 3: 27-50
34. García MJ. Estudio de la marcha y del dolor en la artrosis de rodilla con tratamiento crioterápico (Tesis Doctoral). Madrid: Universidad Complutense de Madrid; 1993.
35. Dankloff MC. Análisis de la marcha humana (Tesis Doctoral). Alcalá de Henares: Universidad de Alcalá; 1991
36. Mann RA, Hagy JL, White C, Liddell D. The initiation of gait. J Bone Joint Surg. 1979; 61-A:232.
37. Gómez A, Vicente G, González A, Ara I, Casajús J. Relación entre masa ósea y agilidad en personas mayores. Motricidad. European Journal of Movement. 2010; 25: 105-117.
38. Aguado HS, Rodríguez TR, Gómez PL. An evaluation of patterns of change in total and regional body fat mass in healthy Spanish subjects using dual-energy X ray absorptiometry (DXA). European Journal of Clinical Nutrition. 2008; 62: 1440-1448.
39. Payne AH. The use of force platforms for the study of physical activity. Biomechanics I 1st Int Seminar. Zurich; 1967. 83-86.
40. Kirtley C, Whittle MW, Jefferson RJ. Influence of walking speed on gait parameters. J Biomed Eng. 1985: 282-288.
41. Nayak US, Gabell A, Simons MA, Isaacs B. Measurement of gait and balance in the elderly. J Am Geriatrics Soc. 1982; 30 (8): 516-520.
42. Carrasco JL, Hernán MA. Estadística multivariante en las ciencias de la vida. Madrid: Editorial Ciencia 3 SL; 1993.
43. Cesari M, Kritchevsky SB, Penninx BWJH, Nicklas BJ, Simonsick EM, Newman AB et al. Prognostic value of usual gait speed in well-functioning older people: results from the health, aging and body composition study. JAGS. 2005; 53 (10): 1675-1680.

44. Onder G, Penninx BWJH, Lapuerta P, Fried LP, Ostir GV, Guralnik JM et al. Change in physical performance over time in older women: The women's health and aging study. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2002; 57: 289-293.
45. Visser M, Kritchevsky SB, Goodpaster BH, Newman AB, Nevitt M, Stamm E et al. Leg muscle mass and composition in relation to lower extremity performance in men and women aged 70 to 79: the health, aging and body composition study. *J Am Geriatr Soc.* 2002; 50 (5): 897-904.
46. Ferraro KF, Su YP, Gretebeck RJ, Black DR, Badylak SF. Body mass index and disability in adulthood: a 20-year panel study. *Am J Public Health.* 2002; 92 (5): 834-840.
47. Zoico E, Di Francesco V, Guralnik JM, Mazzali G, Bortolani A, Guariento S et al. Physical disability and muscular strength in relation to obesity and different body composition indexes in a sample of healthy elderly women. *Int J Obes Relat Metab Disord.* 2004; 25 (2): 234-241.
48. Atkinson HH, Rosano C, Simonsick EM, Williamson JD, Davis C, Ambrosius WT et al. La función cognitiva, deterioro de la marcha de velocidad y comorbilidades: la salud, envejecimiento y estudio de la composición corporal. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2007; 62 (8): 844-850.
49. Baumgartner RN, Heymsfield SB, Loadman TG, Wang ZM, Going SB. Human body composition. Champaign, IL: Human Kinetics; 2005.
50. Aguado HS, Rodríguez TR, Gómez PL. An evaluation of patterns of change in total and regional body fat mass in healthy Spanish subjects using dual-energy x-ray absorptiometry (DXA). *European Journal of clinical nutrition.* 2008; 62: 1440-1448.
51. Aguado HS, Rodríguez TR, Gómez PL. An evaluation of lean body mass in the Spanish population using X-ray absorptiometry (DXA). *International Journal of body composition research.* 2006; 4 (2): 67-74.
52. Aguado HS, Rodríguez TR, Gómez PL, Clemente C. Total and regional bone mineral content in healthy Spanish subject by dual-energy X ray absorptiometry. *Skeletal Radiol.* 2008; 37: 1025-1032.
53. Gómez PL, Fernández Valencia R, Dankloff C, Fernández FJ. Análisis biomecánico de la marcha humana normal. *M.M.* 1992; 48 (1): 11-13.

54. Tsutsumi M, Tsunenari R, Fukase M y Fujita T. Age and gender related changes of body composition in Japanese. *J Bone Miner Res.* 1993; 8 (4): 397-402.
55. Pietrobelli A, Faith MS, Wang J, Braambilla P, Chiumello G y Heymsfield SB. Association of lean tissue and fat mass with bone mineral content in children and adolescents. *Obes Res.* 2002; 10 (1): 56-60.

9. ANEXOS

Anexo 1

Formulario de conformidad en investigaciones del laboratorio de marcha del departamento de anatomía y embriología humanas

TÍTULO DEL PROTOCOLO: Estudio preliminar de la relación entre la composición corporal y la cinética de la marcha en una población joven deportista.

Como sujeto de un estudio está usted participando en una investigación sobre las características de los movimientos y las fuerzas realizadas durante la marcha en pacientes jóvenes sanos. Se le ha requerido para participar en este estudio porque no presenta ninguna patología del aparato locomotor ni la ha sufrido en 24 meses. A través de este estudio esperamos conocer más profundamente las cualidades que conforman la marcha normal en la población joven deportista y su relación con la composición corporal.

Si decide participar en el mismo, se estudiarán los movimientos que se realizan al caminar mediante técnicas cinéticas. Se analizará la composición corporal de su cuerpo mediante la técnica de densitometría DXA, totalmente inocua para usted, que consiste en obtener los datos de su composición corporal con un densitómetro. Usted solo deberá permanecer tumbado sobre el aparato durante 15 minutos para que este lo analice de forma similar a una radiografía pero soportando una cantidad de radiación ínfima (menor de 1mrem). Posteriormente deberá caminar por una zona del laboratorio donde se le registraran las fuerzas que realiza el pie sobre el suelo para su posterior estudio.

A través de estos estudios esperamos obtener más datos de la marcha y su relación con la composición corporal, para poder entender mejor sus alteraciones en sujetos con patologías y establecer unos valores estándar de normalidad. Todos los datos permanecerán en la confidencialidad y no serán comunicados a nadie, excepto a cada sujeto participante en el estudio.

Si no decide participar, solo tiene que comunicárnoslo. Incluso si decide hacerlo, pero cambia de opinión más adelante, solo tiene que decirlo y se retiraran sus datos del estudio.

La realización de estas pruebas es gratuita y su gasto está a cuenta del equipo investigador.

Si decide colaborar en este estudio, solo tiene que firmar este protocolo de aceptación del mismo.

Firma

Fecha

Anexo 2

Prueba de densitometría

Nombre: ██████████ b
ID: ZAD-1
Edad: 21 años
Sexo: Masculino

Raza: BLANCA
Altura: 164
Peso: 63

R A

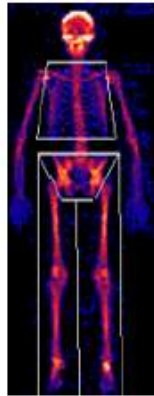


Imagen no válida para diagnóstico

Cuerpo Completo en: 15/04/2015 18:21:09

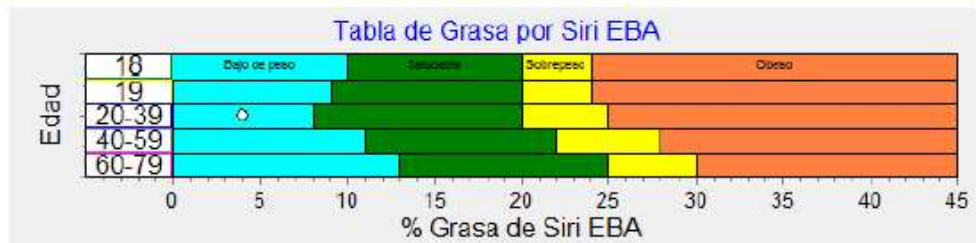
Region	%
Grasa Total	7
Grasa de Siri EBA	4
Grasa de Brozek EBA	5
Grasa en Tejido Blando	8
CMOT/MLG	5

Exclusión de puntos de Alta Densidad

Region	DMO (g/cm ²)	CMO (g)	Area (cm ²)	Longitud (cm)	Anchura (cm)	Masa Magra (g)	Masa Grasa (g)	T-Score	Emparejado con Joven(%)	Z-Score	Emparejado por Edad(%)	Var. Estand. (%)	Var. Estand. (%/año)	Var. Largo Plazo (%)	Var. Largo Plazo (%/año)
Total	1.016	2895	2848			55660	4617	-1.43	85.2	-1.16	87.7	*****	*****	*****	*****
Cabeza	1.838	535.5	291.3			4065	337.7	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
Pecho	0.8722	446.5	512.0			14030	589.5	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****

Estándar CVs para todo DMO: 0.9 Consulte el manual para otros valores estimados.
 6.5 mm X 13.0 mm, 260 mm/s, 66.95 cm, Rev. 4.4.5/2.3.1 Calib. 15/04/15 S/N 8557

Comentarios:



NORLAND

Nombre:

Dirección:

ID: ZAD-1
 Raza: BLANCA
 Edad: 21 años
 Edad menop:
 Sexo: Masculino
 Altura: 164
 Peso: 63

Teléfono:
 Historial:
 Tratamiento:
 Medicación:

Comentarios TRIATLON 12-14 H/SEM DTE 3 MESES, NATACIÓN 3H SEMA DTE 1 AÑO,CORRER 4 HORAS SEMA MÁS DE 5 AÑOS
 NO FUMAS, NO BEBES, NO CAFE,
 DIEST

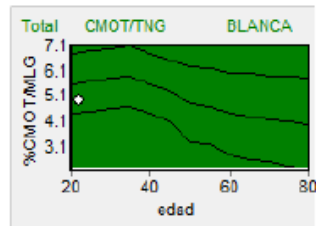
Información del Escaner

Tipo de Estudio: Cuerpo Completo
 Fecha análisis: 15/04/2015 18:22:52
 Fecha de calibración: 15/04/15
 Técnico:
 Médico:

Resolución: 13.0 x 6.5
 Velocidad: 260 mm/s
 Amplitud: 67.0
 Hueste/Escanner: 4.4.5/2.3.1
 Analisis/Version: 4.4.5

Resultados Detallados:

Region	DMO (g/cm ²)	CMO (g)	Area (cm ²)	Longitud (cm)	Anchura (cm)	Masa Magra (g)	Masa Grasa (g)	T-Score	Emparejado con Joven(%)	Z-Score	Emparejado por Edad(%)	Var. Estand (%)	Var. Estand (%/año)	Var. Largo Plazo (%)	Var. Largo Plazo (%/año)
Med-Torso	1.174	51.37	43.76			3419	326.6	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
Pelvis	1.275	418.7	328.5			8033	665.9	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
Pierna izq	1.068	532.8	499.1			10057	879.5	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
Pierna der	1.106	525.2	474.7			9042	1351	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
Brazo izq	0.5481	201.8	368.2			3757	127.8	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
Brazo der	0.5534	182.6	330.1			3257	338.3	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****



Anexo 3

Prueba de marcha

<u>Tiempo apoyo</u>	:	0.55 s	<i>ϕ t_c + t_d (A)</i>	
<u>Fuerza vertical en instantes</u>		<u>t (s)</u>	<u>Fz (N)</u>	
Impacto	:	0.12	589.29	
Apoyo talón	:	0.12	589.29	
Valle	:	0.28	394.54	
Despegue	:	0.41	582.66	
<u>Fuerzas horizontales</u>		<u>t (s)</u>	<u>Fx (N)</u>	<u>Fy (N)</u>
Mínimas	:	0.10	-81.94	-17.40
Máximas	:	0.47	104.44	21.48
<u>Impulsos mecánicos (N.s)</u>				
Frenado en Z	:	116.52	de Despegue	: 124.43
Positivo en X	:	13.26	Positivo en Y	: 0.71
Negativo en X	:	-10.75	Negativo en Y	: -3.90
<u>Desviación del centro de presiones</u>		<u>t (s)</u>	<u>D (mm)</u>	
Mínima	:	0.52 s	-15.77	
Máxima	:	0.25 s	7.28	
<u>Desplazamientos (mm)</u>				
Apoyo Talón	:	54.17	Valle	: 142.17
Despegue	:	174.27	Fin Apoyo	: 197.65
<u>Dirección Huella</u>	:	2.37 °		

DINASCAN - IBV	26/3/2015	AMPAJ11N.DIN
-----------------------	-----------	--------------

Nombre :	<div style="border: 1px solid black; background-color: #90EE90; width: 100px; height: 15px;"></div>
Comentario :	Normal-1

Plot deca (2)

Tiempo apoyo : 0.54 s

Fuerza vertical en instantes

	t (s)	Fz (N)
Impacto	0.10	613.33
Apoyo talón	0.10	613.33
Valle	0.25	368.66
Despegue	0.41	612.78

Fuerzas horizontales

	t (s)	Fx (N)	t (s)	Fy (N)
Minimas	0.07	-110.18	0.01	-7.67
Máximas	0.48	105.95	0.11	50.39

Impulsos mecánicos (N.s)

Frenado en Z	115.11	de Despegue	132.17
Positivo en X	13.03	Positivo en Y	15.34
Negativo en X	-14.43	Negativo en Y	-0.15

Desviación del centro de presiones

	t (s)	D (mm)
Minima	0.24 s	-8.37
Máxima	0.53 s	15.69

Desplazamientos (mm)

Apoyo Talón	43.90	Valle	111.71
Despegue	161.11	Fin Apoyo	195.50


Dirección Huella : -14.61 °

DINASCAN - IBV

26/3/2015

AMPAJ11N.DIN

Nombre :



Comentario :

Normal-1