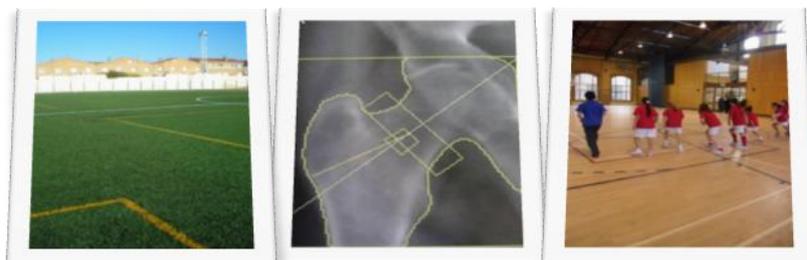


DEPARTAMENTO DE ACTIVIDAD FÍSICA Y CIENCIAS DEL DEPORTE

**FACULTAD DE CIENCIAS DEL DEPORTE
(TOLEDO)**

TESIS DOCTORAL

**EFFECTOS DE LA PRÁCTICA DE FÚTBOL
SOBRE CÉSPED ARTIFICIAL EN LA MASA ÓSEA
DE NIÑOS Y NIÑAS EN CRECIMIENTO**



MARÍA PLAZA CARMONA

DIRECTORES: Dra. D.^a LEONOR GALLARDO GUERRERO

Dr. D. IGNACIO ARA ROYO

TOLEDO, 2014

A Felipe, Encarna y Laura.



Dra. D.^a Leonor Gallardo Guerrero, Profesora Titular de la Universidad de Castilla-La Mancha en la Facultad de Ciencias del Deporte de Toledo,

Certifica:

Que el trabajo de Tesis Doctoral desarrollado por la Licenciada María Plaza Carmona, **Efectos de la práctica de fútbol sobre césped artificial en la masa ósea de niños y niñas en crecimiento**, ha sido realizado bajo mi dirección. En mi opinión, reúne los requisitos para proceder a iniciar los trámites pertinentes para la Comisión de Doctorado de la Universidad de Castilla-La Mancha y su posterior defensa ante tribunal.

Y para que conste, expido la presente certificación en Toledo, a 23 de Junio de 2014.

Fdo. Dra. D.^a Leonor Gallardo Guerrero



Dr. D. Ignacio Ara Royo, Profesor Titular de la Universidad de Castilla-La Mancha en la Facultad de Ciencias del Deporte de Toledo,

Certifica:

Que el trabajo de Tesis Doctoral desarrollado por la Licenciada María Plaza Carmona, **Efectos de la práctica de fútbol sobre césped artificial en la masa ósea de niños y niñas en crecimiento**, ha sido realizado bajo mi dirección. En mi opinión, reúne los requisitos para proceder a iniciar los trámites pertinentes para la Comisión de Doctorado de la Universidad de Castilla-La Mancha y su posterior defensa ante tribunal.

Y para que conste, expido la presente certificación en Toledo, a 23 de Junio de 2014.

Fdo. Dr. D. Ignacio Ara Royo

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE FIGURAS.....	15
ÍNDICE DE TABLAS.....	19
ABREVIATURAS DESARROLLADAS.....	23
APÉNDICE.....	27
AGRADECIMIENTOS.....	31
FUENTES FINANCIADORAS DE LA INVESTIGACIÓN	35
RESUMEN	39

PRIMERA PARTE: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

CAPÍTULO 1: El fútbol como deporte más practicado en la sociedad actual.

Pavimentos deportivos de fútbol

1.1. Introducción	47
1.2. Origen e historia del fútbol.....	49
1.3. Superficies para la práctica del fútbol.....	51
1.3.1. Estructura de los campos de fútbol de superficie natural: tierra	52
1.3.2. Estructura de los campos de fútbol de superficie natural: césped natural.....	53
1.3.3. Estructura de los campos de fútbol de superficie sintética: césped artificial	55
1.3.3.1. <i>Sub-base</i>	62
1.3.3.2. <i>Capa elástica o PAD</i>	62
1.3.3.3. <i>Backing</i>	63
1.3.3.4. <i>Caucho</i>	63

CAPÍTULO 2: El fútbol y su influencia sobre la masa ósea

2.1. Introducción	67
2.2. Beneficios de la práctica del fútbol sobre la salud de niños en creci- miento ..	70
2.3. Beneficios específicos del fútbol en la composición corporal.....	73
2.3.1. Influencia de la práctica deportiva sobre la salud ósea.....	74

2.4. Definición y función del hueso	75
2.4.1.Composición del hueso	76
2.4.2.Estructura del hueso	78
2.4.3.Tipos de hueso atendiendo a su estructura macroscópica, forma y grado de desarrollo	78
2.5. Remodelado óseo.....	80
2.6. La osteoporosis como enfermedad que se inicia en la infancia	82
2.6.1.Osteoporosis.....	82
2.6.1.1. <i>Definición</i>	84
2.6.1.2. <i>Factores de riesgo de la osteoporosis</i>	85
2.6.2.Métodos de diagnóstico.....	88
2.6.2.1. <i>Marcadores bioquímicos del remodelado óseo</i>	89
2.6.2.2. <i>Radiología</i>	89
2.6.2.3. <i>Resonancia magnética (RM)</i>	90
2.6.2.4. <i>Tomografía computarizada (TC)</i>	90
2.6.2.5. <i>Biopsia ósea</i>	91
2.6.2.6. <i>Densitometría ósea</i>	91

SEGUNDA PARTE: ANÁLISIS EMPÍRICO

CAPÍTULO 3: Metodología de la investigación

3.1. Introducción	99
3.2. Hipótesis	100
3.3. Objetivos.....	100
3.4. Material y métodos	
3.4.1.Muestra	101
3.4.1.1. <i>Participantes estudio 1</i>	102
3.4.1.2. <i>Participantes estudio 2</i>	102
3.4.1.3. <i>Participantes estudio 3</i>	103
3.4.2.Comité de ética	103

3.4.3.Descripción de los test y las pruebas	103
3.4.3.1. Valoración de la talla y la masa corporal	103
3.4.3.2. Valoración de la condición física	104
3.4.3.3. Valoración de la composición corporal.....	105
3.4.3.4. Valoración del desarrollo puberal.....	107
3.4.3.5. Evaluación de la función deportiva de los campos de fútbol. Interac- ción del jugador con el pavimento de césped artificial.....	108
3.4.4.Definición de las variables	111
3.4.5.Análisis estadístico	113

CAPÍTULO 4: Resultados y discusión

4.1. Resultados y discusión del estudio 1	117
4.1.1.Resultados de edad, antropometría y consumo máximo de oxígeno	117
4.1.2.Resultados de composición corporal.....	118
4.1.3.Relación del CMO y DMO con las características de los campos de fútbol	120
4.1.4.Discusión	122
4.2. Resultados y discusión del estudio 2.....	125
4.2.1.Resultados edad y composición corporal	125
4.2.2.Resultados CMO y DMO ajustados por talla, masa corporal y edad	125
4.2.3.Discusión	127
4.3. Resultados y discusión del estudio 3.....	130
4.3.1.Resultados características físicas.....	130
4.3.2.Resultados masa ósea	132
4.3.3. Características de las superficies de los campos de fútbol.....	137
4.3.4.Discusión	137

CAPÍTULO 5: Conclusiones

141

CAPÍTULO 6: Futuras líneas de investigación	145
CAPÍTULO 7: Referencias bibliográficas	149
CAPÍTULO 8: Anexos	165

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1: El fútbol como deporte más practicado en la sociedad actual.

Pavimentos deportivos de fútbol

Figura 1.1. Campo de fútbol de tierra.....	52
Figura 1.2. Césped artificial de 1. ^a generación	56
Figura 1.3. Césped artificial de 2. ^a generación	57
Figura 1.4. Césped artificial de 3. ^a generación	58
Figura 1.5. Representación esquemática de una estructura de césped artificial	59

CAPÍTULO 2: El fútbol y su influencia sobre la masa ósea

Figura 2.1. Micrografía con osteoclastos (Oc) y osteoblastos (Ob).....	77
Figura 2.2. Estructura del hueso largo.....	78
Figura 2.3. Tipos de hueso según su forma	80
Figura 2.4. Crecimiento y remodelación ósea	81
Figura 2.5. Triángulo de Ward´s	83
Figura 2.6. Muestra de biopsia con un espesor de hueso normal	84
Figura 2.7. Muestra de biopsia de una persona con osteoporosis.....	84
Figura 2.8. Factores de riesgo de osteoporosis	88

CAPÍTULO 3: Metodología de la investigación

Figura 3.1. Realización test Course Navette	104
Figura 3.2. Calibración diaria DXA.....	105
Figura 3.3. Fantoma de calibración	106
Figura 3.4. Exploración de cuerpo entero	107
Figura 3.5. Estadios del Test de Tanner en niñas.....	108
Figura 3.6. Estadios del Test de Tanner en niños.....	108

Figura 3.7. Atleta Artificial Avanzado 109

Figura 3.8. Influencias de la superficie sobre las fuerzas de impacto generado durante la carrera..... 110

CAPÍTULO 4: Resultados y discusión

Figura 4.1. Porcentaje de cambios de CMO y DMO en cuerpo entero y cadera 136

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 1: El fútbol como deporte más practicado en la sociedad actual.

Pavimentos deportivos de fútbol

Tabla 1.1. Comparación entre los rangos exigidos en los diferentes sellos de homologación para campos de fútbol de césped artificial 61

CAPÍTULO 2: El fútbol y su influencia sobre la masa ósea

Tabla 2.1. Efectos físicos, psicológicos y sociales de la actividad física 72

Tabla 2.2. Criterios densitométricos en osteoporosis..... 84

Tabla 2.3. Ventajas e inconvenientes del DXA..... 93

Tabla 2.4. Valores de picos de masa ósea DMO (g/cm²) en población sana española en diferentes anatómicos para Hologic 93

CAPÍTULO 3: Metodología de la investigación

Tabla 3.1. Estudios que forman la Tesis Doctoral 99

Tabla 3.2. Distribución de la muestra del estudio 1 102

Tabla 3.3. Distribución de a muestra del estudio 2 102

Tabla 3.4. Distribución de la muestra del estudio 3 103

Tabla 3.5. Variables dependientes de estudio..... 111

CAPÍTULO 4: Resultados y Discusión

Tabla 4.1. Resultados edad, antropometría y consumo máximo de oxígeno (media ± DE) 117

Tabla 4.2. Peso corporal ajustado (ANCOVA) por contenido mineral óseo (CMO; g) y densidad (DMO; g·cm⁻²) para escáner de cuerpo entero y cadera 119

Tabla 4.3. Resultados de los campos de fútbol 120

Tabla 4.4. Matriz de correlación entre la deformación vertical, absorción de impactos y energía de restitución para BMC y BMD en suelo duro / blando.... 121

Tabla 4.5. Resultados descriptivos de los participantes (media ± DE)..... 125

Tabla 4.6. Resultados contenido mineral óseo (CMO) ajustado por talla, masa corporal y edad (media \pm DE)	126
Tabla 4.7. Resultados densidad mineral óseo (DMO) ajustado por talla, masa corporal y edad (media \pm DE)	127
Tabla 4.8. Características descriptivas de las evaluaciones previa (pre) y posterior (post) de cada grupo	131
Tabla 4.9. Evolución del contenido de mineral óseo de cuerpo y cadera. Análisis ajustado por edad, peso, altura, tanner y años jugando	134
Tabla 4.10. Evolución de la densidad mineral ósea de cuerpo y cadera. Análisis ajustado por edad, peso, altura, tanner y años jugando	135
Tabla 4.11. Resultados de las superficies de los campos	137

ABREVIATURAS

ABREVIATURAS DESARROLLADAS

ANCOVA: Análisis de la Covarianza

ANOVA: Análisis de la Varianza

CEIC: Comité Ético de Investigación Clínica

CMO: Contenido Mineral Óseo

CSD: Consejo Superior de Deportes

DE: Desviación Estándar

DMO: Densidad Mineral Ósea

DXA: Densitometría Fotónica Dual de Rayos X

FIFA: Fédération Internationale de Football Association

IMC: Índice de Masa Corporal

MGT: Masa Grasa Total

MGTr: Masa Grasa Tronco

MMP: Masa Muscular Media de Piernas

MMT: Masa Muscular Total

MO: Masa Ósea

O.M.S.: Organización Mundial de la Salud

RM: Resonancia Magnética

RO: Remodelado Óseo

SPSS: Paquete estadístico para ciencias sociales

TAC: Tomografía Axial Computarizada

UEFA: Union of European Football Associations

URO: Unidades de Remodelación Ósea

VO₂ máx.: Consumo Máximo de Oxígeno

A

PÉNDICE

Los resultados obtenidos en esta Tesis Doctoral se han utilizado para la elaboración y envío de los siguientes artículos científicos con índice de impacto JCR.

Título	Revista	Estado
Influence of hard vs. soft ground surfaces on bone accretion in prepubertal footballers.	International Journal of Sports Medicine (Factor de impacto 2.268).	Int J Sports Med 35(1): 55-61
Higher bone mass in prepuberal and peripuberal female footballers	Plos One (Factor de impacto 3.730).	En segunda revisión
Influence of playing football in hard vs soft ground surfaces on bone accretion in prepubertal children after 24 months follow up.	Sin decidir	En proceso

A GRADECIMIENTOS

Son muchas las personas a las que quisiera agradecer toda la ayuda y apoyo que me han dado a lo largo de estos tres años y medio de trabajo.

En primer lugar, expresar mi agradecimiento a mis directores de Tesis. A la Dra. D.^a Leonor Gallardo Guerrero, por la oportunidad que me ha brindado al formar parte de su grupo, mostrándome que el trabajo y la profesionalidad son claves para el éxito. Al Dr. D. Ignacio Ara Royo, por su ayuda y constante ánimo, enseñándome que cada cosa requiere su tiempo.

A mis compañeros del grupo, Pablo, José Luis, Javier, Álvaro, Jorge y Esther, porque son parte de este trabajo. Gracias por tener paciencia los días de pruebas.

A María, mi compañera incondicional a lo largo de este trabajo. Ha sido un placer tenerla al lado y compartir cada frase de esta Tesis. Han sido muchas las horas de pruebas, de trabajo, de risas, de agobios... Gracias por estar ahí en todo momento y por convertirte en una gran amiga para siempre.

Me gustaría también agradecer su colaboración a dos grandes referentes de la investigación que han hecho que con su ayuda haya sido mucho más fácil empezar a formar parte de la misma. Gracias, Alba, por todo lo que me has enseñado en la recta final, por la paciencia que has tenido conmigo y por enseñarme tantísimas cosas. A Germán por toda su ayuda poniendo el sello de calidad de esta Tesis.

Agradecer a todos los clubes deportivos, ayuntamientos, padres, niños/as que año tras año han venido de manera desinteresada siendo los protagonistas de este trabajo. Sin ellos esto no hubiera sido posible.

Finalmente, de manera muy especial, a toda mi familia. A mis padres, por todo su cariño y educación que me han dado y por estar ahí en todo momento aconsejándome y mostrándome su apoyo. A mi hermana, por todos aquellos momentos en los que le pedí un minuto de su tiempo y terminaron siendo horas de ayuda. Os quiero.

María

F UENTES FINANCIADORAS DE LA INVESTIGACIÓN

Fuentes financiadoras de la investigación desarrollada

Los estudios que componen esta tesis doctoral han sido cofinanciados por La Consejería de Educación y Ciencia de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha (Proyecto de Excelencia PEII 10-0111-8071); y el contrato de I+D entre Mondo Ibérica S.A y la Universidad de Castilla-La Mancha UCTR100356 (acogido al Art. 83 de la L.O. de Universidades y al Art. 110 de los estatutos de la UCLM).

R

ESUMEN

Las etapas de crecimiento de los niños representan un momento crucial para el desarrollo de la masa ósea. Uno de los aspectos que influyen de una forma determinante en la adquisición de masa ósea es la práctica deportiva que realizan los niños.

Actualmente nos encontramos en una sociedad donde el sedentarismo está aumentando en toda la población. Los niños cada vez se ven más atraídos por actividades de carácter sedentario como ver la televisión o jugar con videoconsolas, exponiendo sus huesos a menores cantidades de impactos y fuerzas que benefician un mayor desarrollo óseo y que favorecen la adquisición de niveles superiores de densidad mineral ósea (DMO). La superficie de juego en la que se realiza la práctica deportiva y sus características físicas pueden jugar un papel importante en la osteogénesis producida por esta práctica. Sin embargo casi no existen trabajos que analicen estos factores. Por todo esto, es importante analizar la influencia de la práctica deportiva y el lugar donde se realiza como factor que permite un óptimo desarrollo óseo durante el crecimiento siendo el objetivo principal de esta Tesis Doctoral mejorar y aumentar el conocimiento sobre la influencia que se deriva de la práctica de fútbol sobre la masa ósea de niños y niñas en crecimiento, así como determinar si el tipo de superficie donde se práctica podría influir en esta relación.

Un total de 147 niños/as de entre 8 y 12 años han participado en el estudio. En todos ellos, la composición corporal fue determinada mediante absorciometría fotónica dual de rayos X (Hologic, Serie Discovery QDR, Bedford, USA). Para evaluar el desarrollo puberal, se utilizó el test de Tanner y finalmente el test de Course Navette para calcular el consumo máximo de oxígeno por estimación.

Los principales resultados y conclusiones de este trabajo muestran cómo: 1) tanto en niños como en niñas la práctica del fútbol puede facilitar la adquisición de un mayor contenido y densidad mineral ósea durante el crecimiento. Además, cuando se incluye un diseño longitudinal (2 años de seguimientos) se demuestra que está influenciada por el tipo de superficie sobre la que se desarrolle esta práctica, mostrando cómo las superficies blandas, como es el caso del césped artificial, colaboran en la obtención de un incremento superior de la masa ósea durante el crecimiento.

En conclusión, la práctica deportiva (fútbol) durante la infancia provoca mejoras a nivel ósea en los niños deportistas superiores a los niños coetáneos especialmente cuando se realiza en césped artificial.

P

PRIMERA PARTE

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

C

APÍTULO 1

EL FÚTBOL COMO DEPORTE MÁS PRACTICADO EN LA SOCIEDAD ACTUAL. PAVIMENTOS DEPORTIVOS DE FÚTBOL

1.1. INTRODUCCIÓN

La práctica deportiva cobra un papel fundamental en el desarrollo óseo. En edades tempranas es fundamental llevar a cabo un estilo de vida activo, participando en diferentes actividades de carácter físico-deportivo que a través de los impactos y fuerzas que generan estimulen su adecuado desarrollo y garanticen una capital ósea mayor que asegure la reducción de problemas en la etapa adulta.

La iniciación deportiva debe comenzar durante la etapa prepuberal, ya que produce una hipertrofia esquelética y muscular muy superior a la generada en un crecimiento sin la presencia de práctica deportiva (Vicente-Rodríguez, 2006). Esta práctica deportiva produce un incremento en la masa magra del deportista, que es el principal predictor de una correcta acumulación de masa ósea durante el crecimiento en la población.

Estudios sobre el efecto osteogénico derivado de ciertos deportes, ponen de manifiesto la importancia de la práctica deportiva dentro del estilo de vida de las personas, y más especialmente durante la etapa de desarrollo infantil.

El ejercicio regular con cargas, realizado tres veces a la semana durante 30-60 minutos, es una recomendación para prevenir la aparición de osteoporosis. Además de un efecto positivo sobre la masa ósea, el ejercicio regular favorece el equilibrio y la resistencia muscular, lo que reduce el riesgo de fracturas (Ljunggren, 2006).

En la bibliografía se puede observar que el ejercicio físico que incluye impactos, tales como correr, ejercicios de naturaleza pliométrica, etc., mejora el nivel de densidad mineral ósea (DMO) (Bravo et al., 1996; Rutherford, 1999). Sin embargo, no es necesario que la realización de esos ejercicios sea de alto impacto, como saltos, para provocar una mejora de la DMO. Bastan ejercicios de bajo impacto, como andar o subir escaleras, para prevenir la pérdida de la DMO que se produce con el paso del tiempo (Dalsky et al., 1988; Grove & Londeree, 1992).

En este sentido, podemos apreciar cómo el fútbol es un deporte que, debido a las acciones implicadas durante su juego (saltos, patadas, carreras, golpes de cabeza...), puede conferir un excelente marco para la mejora ósea (Calbet, Dorado, Díaz-Herrera & Rodríguez-Rodríguez, 2001).

Por otro lado, el fútbol es el deporte más practicado en nuestro país, siendo numerosas las escuelas y clubes que encontramos en toda la geografía española, así como el número de instalaciones deportivas donde se puede practicar. Estas instalaciones son un elemento esencial para la práctica deportiva, produciéndose una constante evolución en las mismas con el objetivo de aportar unas condiciones óptimas para la práctica del fútbol.

Cada vez son más los campos de fútbol que instalan como superficie de juego el césped artificial, provocando una gran evolución del mismo en los últimos años. Este motivo ha provocado que el césped artificial sea un tipo de pavimento cada vez más extendido y con mayor aceptación por parte de los equipos de fútbol, fundamentalmente en categorías inferiores.

El presente trabajo trata de mostrar los beneficios a nivel óseo que pueden lograrse practicando fútbol en edades prepúberes, así como determinar si la superficie sobre la que se practica (césped artificial o tierra) tiene influencia en las posibles ganancias óseas de la práctica deportiva.

1.2. ORIGEN E HISTORIA DEL FÚTBOL

FÚTBOL.- Palabra españolizada del inglés foot-ball (de foot, “pie” y ball, “balón”, pelota). Juego entre dos equipos contendientes que se lleva a cabo en campos de tierra o hierba (natural o artificial) al aire libre. Esencialmente consiste en disputarse la posesión de un balón para llevarlo hasta cierto lugar (portería) valiéndose principalmente de los pies para empujarlo, golpearlo, lanzarlo y detenerlo.

No se puede afirmar que el juego del fútbol se derive de alguno de los numerosos juegos de pelota practicados en la antigüedad. Autores como Wahl (1998), manifiestan que podemos encontrar una especie de fútbol que se jugaba en China y en Japón hacia el siglo XI a. C., es el Tsu Chu, que se trataba de un juego en el que se pateaba una especie de balón de cuero animal y relleno.

Posteriormente se sabe de su presencia en Grecia y en Roma y, seguidamente, en la Edad Media. La ciudad donde el juego del fútbol tuvo su mayor esplendor fue en la Florencia de los Médicis. Por otro lado, se ha probado que ya a principios del siglo IX se practicaba el juego del balón en Inglaterra.

Al llegar al siglo XIX, el fútbol se encontraba fuertemente arraigado en todas las escuelas que lo adaptaban y lo regulaban de forma que resultara menos violento y más adecuado para ser practicado en sus jardines y patios. En Eton Westminster y otras escuelas, la mayoría con patios o jardines menores, se evolucionó hacia un juego sin intervención de las manos, que no debían utilizarse para sujetar el balón ni el contrario, dando lugar con la intervención del dribbling o arte de dominar el balón con los pies, al dribbling-game, que no tardó en pasar de los colegios a los clubs y en 1820 tenía ya reglas similares a las de los tiempos modernos. En Londres, el 26 de octubre de 1863, crearon la Football Association para unificar sus reglas y facilitar así su difusión y los encuentros entre ellos. En 1871 se disputó el primer campeonato británico. Con toda la codificación se establecieron en Manchester (1882) 17 reglas iniciales para la práctica del fútbol. Nombedeu (2004) apunta cómo en sus comienzos el fútbol era un deporte sin reglas. Para llegar finalmente al deporte reglado que hoy conocemos, el fútbol pasó por diversas etapas que permitieron su formación (Paredes, 2007).

A partir de estas fechas el fútbol se difundió rápidamente por el mundo. En 1904 se creó la Federation Internationale de Football Association (F.I.F.A). En

España el primer lugar en que se jugó fue en la provincia de Huelva, siendo entre 1898 y 1900.

Para Contreras, Gil-Madrona, Cecchini y García (2007), el fútbol es considerado como un lugar de encuentro de polos divergentes donde se mezclan ideologías deportivas y cultura religiosa en un universo común. El fútbol es más que un deporte, es un fenómeno de masas, es un deporte de carácter universal que despierta pasiones en cualquier rincón del planeta. El fútbol es un fenómeno social que levanta pasiones y su influencia se deja sentir en diferentes esferas de la vida social ya sea política, social, económica, cultural o educativa (Alcaide, 2009).

1.3. SUPERFICIES PARA LA PRÁCTICA DEL FÚTBOL

Los campos de fútbol poco a poco han ido transformándose hasta llegar a los actuales. Si nos remontamos a los primeros campos de fútbol, podemos ver que se jugaba en las praderas inglesas, lejos de ser campos de juego bajo unas normativas dimensionales o de tipología de terreno.

El Consejo Superior de Deportes (CSD) (2005), define los campos de fútbol como: “espacios deportivos convencionales” y específicamente se encuentran dentro de la tipología “campos”. El Diccionario de la Lengua Española recoge la acepción de campo de deporte como: *“espacio de terreno acotado, sus dimensiones se ajustan a las establecidas por las federaciones internacionales. Se divide en terreno de juego y graderías. El primero es el lugar destinado a la práctica del deporte; y el segundo, para el público que presencia el juego.”*

Fue en 1891 cuando la oficialización de las medidas mínimas de longitud del campo, (100 yardas o 91,5 m) y ancho (50 yardas o 45,75 m), permitió la normalización del deporte y de los campos de juego, cuya edificación solía estar formada principalmente por terrenos de hierba natural y, excepcionalmente, por campos de tierra, en cuyas praderas no fuera posible la germinación de la anterior (Burillo et al., 2010).

Los campos de fútbol han sufrido una gran transformación tanto externa (con el aumento de graderíos y servicios auxiliares) como interna (referente a las superficies deportivas), y lejos de representar lugares y espacios inertes, han sido cómplices de la función social y saludable que a través de la actividad deportiva allí se desarrolla (Felipe, 2011).

Resumiendo lo anterior se puede decir que esos espacios deportivos convencionales llamados campos de fútbol son superficies cuya extensión está expresada por dos magnitudes: largo y ancho, con delimitación y marcación clara, al aire libre. El fútbol se juega en un terreno de forma rectangular, cuya superficie puede ser de tierra, césped natural o artificial.

1.3.1. Estructura de los campos de fútbol de superficie natural: tierra

En cualquier sitio de la geografía la práctica del fútbol se ha podido llevar a cabo, pues no se han necesitado muchas infraestructuras, solo una pelota y un descampado o campo de tierra, delimitando la superficie de juego marcándola con unas líneas y unas piedras o palos que señalen las porterías, ya se puede practicar el fútbol.

Los campos de fútbol de tierra han sido tradicionalmente las instalaciones deportivas de las poblaciones con menores recursos y de las categorías más bajas. La construcción de campos de fútbol de tierra en España comienza cuando aparece el fútbol en nuestro país, y logra su máximo apogeo a partir de las primeras competiciones de liga nacional en 1930. Durante las primeras décadas del fútbol en España, la inmensa mayoría de campos eran de tierra (Burillo, 2009).



Figura 1.1. Campo de fútbol de tierra.

Tradicionalmente los campos de tierra eran construcciones de grava y areniscas, bien compactadas (Figura 1.1). No obstante, existen zonas, como Andalucía, donde gracias a su orografía particular, estos campos de fútbol estaban compuestos por terrenos de albero (arena más fina y con mejores propiedades que la tierra convencional).

El mantenimiento preventivo de estos campos está compuesto por las siguientes tareas (Ayuntamiento de Valencia, 2007):

Rastrillado: con el fin de evitar la compactación excesiva y ayudar a que se mantenga la nivelación del terreno de juego, sin que se formen hoyos, fisuras, montículos, etc., se debe pasar un rastrillo por toda la superficie del terreno de juego.

Riego: se trata de una operación de suma importancia para mantener en la superficie un cierto grado de humedad que permita que la arena suelta superior tenga plasticidad y no sea tan abrasiva al contacto con el deportista.

Descompactado y nivelación: esta operación consiste en el descompactado de la superficie mediante rastrillado mecánico con una profundidad de 2 a 3 cm.

Aporte de arena a la capa superficial: con el paso del tiempo, parte de la arena y de la tierra de la capa superficial se puede ir perdiendo por el transporte del viento, por ello se debe de ir aportando la arena necesaria para el adecuado estado de la superficie.

Como se puede ver, pese a las ventajas económicas de las superficies de tierra, existen muchos inconvenientes como son la formación de charcos y barrizales, siempre cuando hay lluvia. Al ser tierra, el polvo que se levanta durante la práctica deportiva y sobre todo en el tema de las lesiones, al impactar el cuerpo contra el suelo puede producir heridas por fricción de la superficie en la piel. La práctica del fútbol sobre superficie de tierra se está dejando de utilizar y se tiende al uso del césped natural y cada vez más del artificial. Las categorías superiores no permiten la práctica en este tipo de superficie, pero a pesar de ello todavía existen campos de tierra para las competiciones de rango inferior o para campos de entrenamientos.

Señalar que hasta hace pocos años, en España la mayoría de los campos de fútbol de competición regional y de deporte base tenía la superficie de juego de tierra. Por las diferentes políticas deportivas y subvenciones a nivel autonómico y estatal se ha producido una remodelación de los campos hacia las superficies sintéticas, como es el caso del césped artificial, cuya instauración está aumentando considerablemente en los últimos años (Felipe, 2011).

1.3.2. Estructura de los campos de fútbol de superficie natural: césped natural

Las hierbas naturales han sido apreciadas por su importancia en la calidad de vida desde aproximadamente 2.000 años. Hay referencias históricas de los campos de deporte usados por Akbar, el emperador del Hindustan, (1600 a. C.); alfombras de hierba persa en el reino de Asiria (500 a. C.); los jardines del emperador de China (1090 d. C.) y los jardines medievales de Bretaña en el siglo XIII (Monreal, 2007).

El césped natural es el único pavimento que está formado por un ser vivo, a diferencia de los demás que son materiales inertes. El césped no tiene por qué

tener un sistema radicular muy profundo. En cuanto a la absorción de impactos, se requiere también que el campo sea elástico. Esto se conseguirá con la ayuda de una porosidad elevada del terreno (alto grado de arena que evita la compactación) y de una altura de siega no muy baja, aunque este aspecto incide en otra característica que se le demanda al terreno de juego en estas superficies: la rodadura del balón. Esta, en la mayoría de los casos, necesita que el rozamiento sea bajo (campo rápido) y para ello requerirá una altura de siega baja, aunque también podemos tener en cuenta que el rozamiento se puede disminuir con un riego previo a la disputa del partido, (Manual de mantenimiento de instalaciones deportivas, Ayuntamiento de Valencia, 2007).

El CSD (2008) señala cómo debe ser la estructura de un campo de fútbol de césped natural según los requerimientos indicados en la norma UNE 41959-1:2002 IN. Estas son:

- Firme, para pisar correctamente.
- Tolerancia al pisoteo para aguantar el uso.
- Denso, para permitir el juego rápido.
- Persistente bajo condiciones de corte bajo.

Los campos de césped natural suponen una inversión muy alta, tanto a la hora de crearlos como para su mantenimiento. Un campo de fútbol profesional no se puede usar más de 4-6 horas semanales si se quiere tener en buenas condiciones técnicas. El mantenimiento, así como el cuidado de un césped natural, son muy costosos y exigentes y hace que incluso a los equipos profesionales les cueste mantener los niveles mínimos exigidos. El futuro del césped natural se sitúa en la investigación y desarrollo de especies de césped que combinen gramíneas más resistentes al uso deportivo, con menor gasto hídrico, y con una reducción de las tareas y costes de mantenimiento (Felipe, 2011).

La superficie de los mejores campos de fútbol son de césped natural, esta hierba es corta y tupida cubriendo todo el suelo, esto hace que sea bueno para la práctica deportiva del fútbol. El césped natural aporta un alto nivel en la calidad de juego del fútbol, es por esto que la mayoría de los campos de fútbol profesional son de este tipo. Tanto en competiciones nacionales como en las competiciones internacionales es obligatorio jugar en terrenos de césped natural.

1.3.3. Estructura de los campo de fútbol de superficie sintética: césped artificial

El césped artificial es un pavimento sintético que, como su propio nombre indica, trata de imitar las propiedades de los pavimentos de césped natural, resolviendo muchos de los problemas de mantenimiento y cuidados que tiene el césped natural como ser vivo que es, llevando esto a un material inerte más fácil y barato de mantener.

La historia del césped artificial es bastante reciente, poco a poco ha ido sufriendo cambios como consecuencia del avance de la ciencia. En principio fue diseñado para campos de béisbol y no para la práctica del fútbol (años 60), siendo mucho más duro y menos flexible que los que hoy ofrece el mercado. Esto le hizo ganar mala fama, que se extendió por la década de los ochenta y los noventa.

Una climatología adversa produce charcos y barro en un campo de césped natural que no esté bien cuidado, así como calvas en la superficie de juego, mientras que con el césped artificial te aseguras siempre un terreno llano. Según el presidente de la Real Federación Española de Fútbol (RFEF), Ángel M. Villar, el césped sintético se ha impuesto en todo el mundo porque favorece la práctica del fútbol sin importar el clima o el lugar y asegura que en un futuro todo el fútbol español, incluida la primera división, se disputará sobre césped artificial. En países como Rusia ya se cuenta con la presencia de este tipo de terreno, caso del estadio Luzhniky de Moscú. Organizaciones como la ESTO (2008) señalan que el césped artificial no ofrece un mayor riesgo de lesión que el césped natural e incluso dicen que muchos preparadores y médicos deportivos utilizan el césped artificial para la recuperación de lesionados por ser una superficie bastante estable, pues incluye materiales que no son agresivos para la piel.

Hoy en día se usa en estadios cubiertos o al aire libre. El césped artificial es la alternativa al césped natural por su fácil y económico mantenimiento, por su gran durabilidad a largo plazo, porque permite una mejor técnica deportiva, evita lesiones a los jugadores, elimina la suciedad en los vestuarios y zonas anexas... En definitiva, crea un marco más atractivo y cómodo para la práctica deportiva.

El número de campos de fútbol de césped artificial se ha multiplicado en los últimos años (Díez & Burillo, 2012). Estos campos son sometidos a ciclos de uso

y mantenimiento durante toda su vida útil, siendo posible alargarla sustancialmente con un mantenimiento adecuado (Sanchis, Máñez, Magraner, San Jerónimo & Matey, 2011).

Actualmente hay un gran interés y ferviente debate en todas las categorías del fútbol sobre estas nuevas superficies. El césped artificial de tercera generación cada vez ofrece mejores resultados y sus características se parecen más a los de la hierba natural (CSD, 2012; Gallardo, Felipe, Burillo & Gallardo, 2009).

La primera fibra sintética, se construyó para el estadio cubierto Astrodome de Houston (Estados Unidos) en 1966 y, muy pronto, su implantación se extendió por numerosos campos de béisbol y fútbol americano de toda Norteamérica. En España, el primer campo de césped artificial se construyó en el año 1973 en Sotomontes, Madrid, diseñado por el arquitecto Díaz de Tejado y destinado a la práctica del hockey. Más adelante apareció el segundo campo de césped artificial para hockey, fue implantado un año después en Pau Negre, Barcelona, (Ortego, 2008), apreciando cómo los primeros campos de esta superficie no estaban destinados a la práctica de fútbol, pero que actualmente son el mayor número de instalaciones en las que se utiliza esta superficie sintética.

La composición de las fibras de los campos puede ser muy variada. Estas han ido evolucionando junto con las generaciones de césped artificial, pudiendo mostrar relación con las fuerzas de reacción que genera el terreno de juego sobre el deportista. A lo largo de la evolución de esta superficie se ha ido trabajando con el objetivo de alcanzar una superficie que mejore las prestaciones del césped artificial y que sea lo más parecida a la superficie natural (césped natural). La evolución del césped artificial ha pasado por tres generaciones, en las que se han ido modificando los elementos estructurales hasta llegar a las propiedades que presentan hoy en día y que se sigue trabajando para mejorarlas (Burillo et al., 2010).

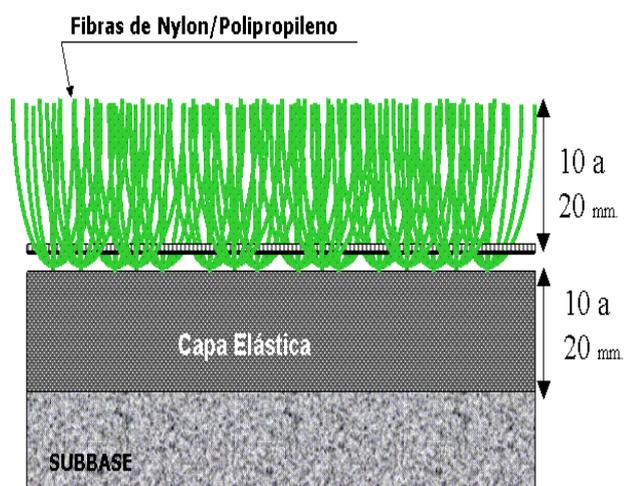


Figura 1.2. Césped artificial de 1.ª generación.

En los años 70, una empresa alemana desarrolla un producto fabricado en polipropileno, un material menos resistente que el nylon, pero que reducía el riesgo de lesiones por abrasión de la piel. Estos productos se fabricaron con una base elástica inferior, dando lugar a lo que se conoce hoy en día como el césped artificial de primera generación (Figura 1.2).

A finales de la década de los 70 aparece la segunda generación de césped artificial. Surge a través de una empresa canadiense que desarrolla diversos productos fabricados también en polipropileno. A diferencia de la fibra anterior, esta aparece dividida de manera longitudinal en dos, las costuras están más separadas y presenta un menor número de fibras, lo que permite abaratar sus costes (Correal, 2008). Como aspecto novedoso en los pavimentos de segunda generación debemos señalar cómo en estos se produce la incorporación de un relleno de arena (Figura 1.3) y la fibra alcanza longitudes de hasta 30 mm.

Apreciamos cómo estos primeros pavimentos de césped artificial, al presentar el pelo corto y arena, favorecen un ligero deslizamiento del calzado y reduce el aplastamiento del pelo. Estos suelos, al tener una baja capacidad de absorción de impactos, suelen incorporar en su base una capa "shock-pad" de entre 20 y 40 mm de espesor, ya sea de caucho reciclado o de otros materiales que le otorgan una alta capacidad de absorción de impactos, contrarrestando el efecto causado por el pelo y la arena.

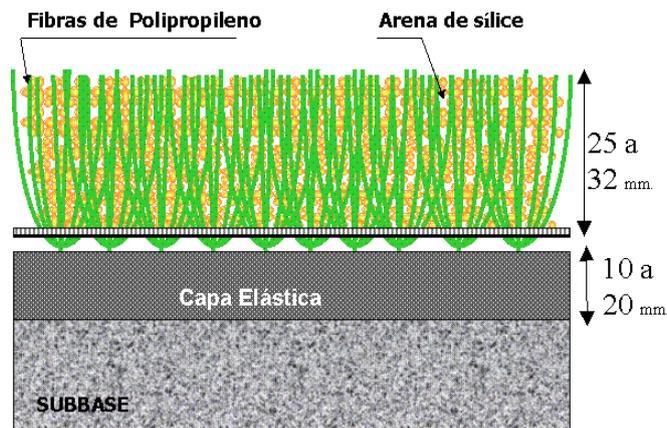


Figura 1.3. Césped artificial de 2.^a generación.

Esta superficie fue expandiéndose poco a poco, produciéndose un reconocimiento en el mundo del deporte para este tipo de superficie, gracias a la utilización de este en los Juegos Olímpicos de Montreal (1976) para la modalidad de hockey, así como su implantación en el campo de fútbol londinense del Queens Park Rangers F.C. (1981) y en otros campos de la 1.^a División inglesa.

A pesar de esto, el diseño no era muy adecuado para la práctica del fútbol, ya que obligaba a los jugadores a utilizar un calzado diferente al usado en el césped natural y modificaba la forma de juego. Analizando el comportamiento del balón se apreciaba cómo el bote de la pelota era distinto al natural, el balón rodaba demasiado, el césped era muy abrasivo y el tapiz se arrugaba (Correal, 2008). Todo ello provocó que el césped artificial adquiriera una mala reputación entre los jugadores y aficionados, considerando que provocaba un mayor número de lesiones que el césped natural. Esto llevó a su prohibición por la Fédération Internationale de Football Association (FIFA), Union of European Football Associations (UEFA) y por otras muchas asociaciones nacionales de fútbol (Burillo et al., 2010).

Pese a todos estos aspectos que hicieron que este tipo de superficie fuese perdiendo confianza en los jugadores y clubes de fútbol, el césped artificial continuó su importante perfeccionamiento, buscando una superficie más blanda, más funcional y más segura para el futbolista, surgiendo a finales del siglo XX lo que se denomina 3.^a generación en el césped artificial al incluirse partículas de caucho triturado. Esta evolución permite que este tipo de pavimento vuelva a ser aceptado por la FIFA y posteriormente por la UEFA para la competición internacional (Burillo, 2009).

En esta nueva generación, la longitud que alcanza el césped es de 50 a 70 mm de largo, presentando una menor densidad de puntadas. Además, el relleno no sólo está compuesto por arena, sino que se completa con caucho (SBR: caucho estireno butadieno; EPDM: Etileno Propileno Dieno tipo M; TPE: elastómeros termoplásticos; relleno natural de fibra de coco, etc.). La abrasión se ve reducida por la utilización de polietilenos lubricados en lugar de polipropileno.

Esta tercera generación presenta una mejor capacidad de absorción de impactos que las generaciones anteriores. Es más parecida en su comportamiento a la hierba natural (Figura 1.4).

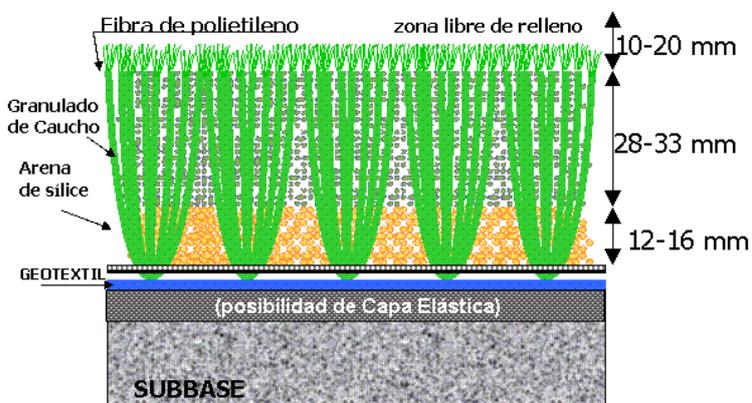


Figura 1.4. Césped artificial de 3.^a generación.

Hoy en día se sigue avanzando y evolucionando a partir de esta última generación. A pesar de ello, no existe aún una 4.^a generación propiamente dicha. Las últimas instalaciones de césped artificial que están apareciendo mezclan distintos tipos de fibras, caucho y arena, dando lugar así a una superficie que presenta una mayor estabilidad, elasticidad, restitución de energía y mejoran la recuperación del aplastamiento, denominado efecto memoria de la fibra (Burillo, 2009). Esta combinación de fibras, arena y caucho ha sido definida como la 4.^a generación de pavimentos artificiales en recientes revisiones sobre la incidencia de lesiones sobre el césped artificial en comparación con el césped natural (Williams, Hume & Kara, 2011); sin embargo, aún no existen evidencias que certifiquen la mejora cualitativa de este tipo de pavimentos, por lo que a día de hoy es demasiado arriesgado hablar de la 4.^a generación del césped artificial.

Dentro de la 3.^a generación de césped artificial podemos apreciar diversos componentes estructurales (Figura 1.5), que hacen que la combinación de estos dé lugar a diferentes tipos de pavimentos de césped artificial, mostrando unas características diferentes en cuanto a absorción de impactos, devolución de energía entre jugador-superficie, etc.

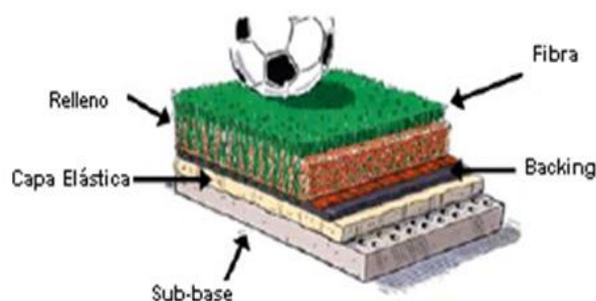


Figura 1.5. Representación esquemática de una estructura de césped artificial (Allgeuer, Torres, Bensason, Chang, & Martin, 2008).

La función deportiva de un campo de césped artificial incluye todas aquellas propiedades que posibilitan una reducción en el riesgo de sufrir una lesión durante la práctica deportiva, a la vez que facilitan un buen rendimiento del deportista en términos de marcas o vistosidad de juego, así como un correcto comportamiento tanto en el bote como en la rodadura de balón (Rosa, Sanchís, Alcántara & Zamora, 2008).

Dentro del análisis de la función deportiva, podemos distinguir los aspectos resultantes de la interacción superficie-jugador (más relacionados con la seguridad de los jugadores) y los que determinan la interacción superficie-balón (más

relacionados con la espectacularidad en el juego), en el caso de deportes como el fútbol (Burillo et al., 2010).

En nuestro caso, se analizará la interacción del jugador con el pavimento de césped artificial, ya que este da lugar a una serie de variables biomecánicas que son las que finalmente determinan el riesgo de lesión y el rendimiento durante el juego (Rosa et al., 2008). Por lo tanto, unos resultados negativos indicarían un alto riesgo de lesión, así como una reducción en la funcionalidad de la superficie de juego, afectando al rendimiento de los jugadores.

Los aspectos que se evalúan dentro de la función deportiva en relación a la interacción superficie-jugador, según Burillo et al. (2010), son: amortiguación, deformación vertical, retorno de energía (energía de restitución), tracción rotacional, tracción lineal y abrasión de la piel.

Al margen de los requisitos dimensionales que deben cumplir los campos por exigencia del reglamento de juego, en nuestro país no ha existido normativa estándar que garantice la seguridad de los pavimentos y del equipamiento deportivo.

Sin embargo, en los últimos años, la homologación de los pavimentos de juego se ha convertido en un requerimiento indispensable para los gestores deportivos, incluyéndose dentro de los pliegos de prescripciones técnicas, con el fin de garantizar su calidad (Felipe, 2011). Actualmente hay dos tipos de sellos de certificación para césped artificial: La Norma UNE-EN para pavimentos deportivos de césped artificial y los sistemas FIFA 1 y 2 estrellas (Burillo et al., 2010).

Los sistemas FIFA 1 y 2 estrellas están destinados al fútbol de alto rendimiento, siendo de obligado cumplimiento para aquellos pavimentos de césped artificial sobre los que se disputen competiciones de carácter profesional o internacional (FIFA, 2012). Sin embargo, la presente investigación se centra en pavimentos destinados a competiciones amateur y de ocio o, lo que es lo mismo, no profesionales, por lo que estas normativas no responden a la finalidad de la superficie de césped artificial y no se profundizará sobre ellas.

La normativa que más se ajusta a las características de los campos de fútbol de césped artificial seleccionados es la UNE-EN.

Las normas UNE o UNE-EN no son de obligado cumplimiento, salvo que la Administración competente las haga obligatorias mediante Ley, Decreto, Re-

glamento o exija su cumplimiento en los Pliegos de Prescripciones Técnicas de los Proyectos de construcción o en los Contratos de Suministros (Burillo et al., 2010). La aplicación de estas normas, permitirá a los usuarios beneficiarse de la mejora de calidad y seguridad de los equipamientos deportivos.

Los requisitos que se aplican a esta norma son para deportes comunitarios, educativos y de ocio. Es decir, que la propia Norma UNE-EN 15330-1:2007 explica detenidamente que, para niveles de competición profesionales y de élite, son los organismos de gestión de deportes internacionales (en el fútbol, FIFA) los que han publicado sus propias especificaciones, como se ha mencionado anteriormente.

Las posiciones de ensayo en las que se lleva a cabo cada una de las pruebas son cinco, permitiéndonos así una evaluación total del campo. A continuación, en la Tabla 1.1, se muestra la comparación entre los rangos exigidos en los diferentes sellos de homologación.

Tabla 1.1. Comparación entre los rangos exigidos en los diferentes sellos de homologación para campos de fútbol de césped artificial.

	FIFA 1 estrella	FIFA 2 estrellas	UNE-EN 15330
Rebote vertical	0,6-1,0 m	0,6-0,85 m	0,6-1,01 m
Bote angular	45-70 %	45-60 %	-
Resistencia al deslizamiento lineal	3-6 g	3-5,5 g	-
Resistencia a la abrasión de la piel	120-220	130-210	-
Rodadura horizontal	4-10 m	4-8 m	4-10 m
Absorción impactos	60-70 %	55-70 %	55-70 %
Deformación vertical	4-9 mm	4-8 mm	4-10 mm
Resistencia Rotacional	25-50 Nm	30-45 Nm	25-50 Nm

1.3.3.1. Sub-base

Las propiedades del campo se ven influidas por este elemento que se encuentra debajo del soporte base del césped artificial o de la capa elástica en caso de que el campo disponga de ella. Esta sub-base puede ser de asfalto, macadán compactado (material de construcción que está constituido por un conjunto de áridos) o gravas compactadas (terreno natural), debiendo soportar las cargas a las que es sometido sin movimiento. La sub-base debe proporcionar una plataforma estable y de buen drenaje sobre la que se ubica la superficie de césped artificial. Además, debe soportar y transmitir las cargas que se producen sobre la superficie durante el uso normal y el mantenimiento (Delaney, 2009).

El tipo de sub-base seleccionada puede afectar a los parámetros de absorción de impactos y deformación vertical, aumentando o disminuyendo la amortiguación en los impactos de los jugadores. Cualquier problema sobre este elemento provocaría un efecto perjudicial sobre la superficie afectando a las características del juego y llegando a aparecer irregularidades en forma de ondulaciones sobre el pavimento, lo que ocasionaría una disminución en la estabilidad de los jugadores y un mayor riesgo de lesión (Delaney, 2009).

1.3.3.2. Capa elástica o pad

De manera opcional se instala bajo la moqueta una capa elástica, con la intención de mantener las propiedades de rigidez y amortiguación a lo largo del tiempo de uso y evitar que disminuyan mucho debido a la compactación del relleno. Esta capa puede estar formada por mezcla de cauchos y ligantes, PVC, látex o poliuretano espumado. Este elemento también contribuye a mantener las propiedades dinámicas (rebote vertical, absorción de impactos y deformación vertical) de la superficie de juego (Delaney, 2009).

Allgeuer et al. (2008) concluyen que una capa elástica bien diseñada ayudará a mantener un rendimiento uniforme en toda la superficie de césped artificial, dejando sin efecto las variaciones en la altura del relleno ocasionadas por la práctica deportiva.

1.3.3.3. Backing

El backing o soporte base es fundamental para lograr una mayor consistencia y duración al tejido. Se trata de una base de lastre, en la que adquiere una gran importancia su peso, composición y resistencia. El backing está constituido por una o dos capas de polipropileno que pueden estabilizarse con poliéster o fibra de vidrio. Debe estar perforado para garantizar el drenaje del campo. Su resistencia viene determinada por el número de hilos empleados en la construcción (Rosa et al., 2008).

1.3.3.4. Caucho

Puede que se trate del elemento más importante de los campos de césped artificial y el que marcó el inicio de la 3.^a generación de pavimentos artificiales. Este material ha cambiado las respuestas de los parámetros dinámicos, obteniéndose unos parámetros excelentes en comparación con los campos sin lastre de caucho. Las principales mejoras se pueden observar en la relación de la absorción de impacto-deformación vertical, el retorno de la energía, la capacidad de tracción, el bote, la rodadura del balón y la uniformidad del terreno (Burillo et al., 2010). Por otro lado, la abrasión de la piel se ve en parte disminuida debido a la arena de sílice, reduciendo por tanto uno de los principales problemas de los campos de fútbol de césped artificial. Además, es importante mencionar que la cantidad de caucho sobre la superficie afectará a las propiedades mecánicas de los pavimentos (Burillo, 2009).

Existen diferentes tipos de granulado de caucho según sus características (Barrales, 2007). En nuestro estudio todos los campos disponían de Caucho SBR (Estireno Butadieno Rubber), procedente de neumáticos fuera de uso. Es el caucho más utilizado en los campos de fútbol (instalado en el 90% de los campos de todo el mundo) y está presente en las estructuras analizadas en este estudio. Entre sus ventajas podemos destacar unas buenas propiedades mecánicas, una mejora en la elasticidad del sistema, gran resistencia a UV y al ozono, respetuoso con el medioambiente, termoestable, un precio competitivo y muy seguro para el usuario (Alcántara, Gámez, Rosa & Sanchís, 2009). Por otra parte, algunos de sus inconvenientes son la imposibilidad de variar su formulación (material reciclado), su color negro que reduce el parecido con respecto al césped na-

tural, el alto consumo de agua que requiere o una pisada inestable del jugador de fútbol (Ortiz, 2009).

CAPÍTULO 2

EL FÚTBOL Y SU INFLUENCIA SOBRE LA MASA ÓSEA

2.1. INTRODUCCIÓN

Las fuerzas de reacción ejercidas por la superficie de juego durante la práctica de fútbol es un factor esencial a la hora de valorar el efecto que la práctica deportiva tiene sobre el hueso y especialmente sobre la DMO de los niños que juegan sobre las diferentes superficies (Rosa, 2009).

El fútbol es un deporte donde una de las acciones más involucradas son las carreras, produciendo éstas una alta tensión mecánica sobre los huesos de las extremidades inferiores, debido a las altas fuerzas de reacción del suelo hacia el jugador (Freychat, Belli, Carret & Lacour, 1996).

El tipo de terreno en el que se desarrolle el juego afecta a la propia naturaleza del fútbol (Lees & Nolan, 1998). La controversia suscitada por la introducción de las superficies sintéticas al fútbol, ha dado lugar a investigaciones biomecánicas de las prestaciones de rendimiento y seguridad de todas las superficies en las que se disputa este.

Durante el transcurso de un partido o entrenamiento de fútbol, el jugador realizará un gran número de habilidades y movimientos a lo largo de sus aproximadamente 10 kilómetros de recorrido. Dada la media de las zancadas, la mayoría de jugadores efectuarán alrededor de 4.200 impactos contra el pavimento por partido, lo que se traduce en más de 75.000 impactos durante un mes de entrenamiento (Rocco, 2005). Esto nos hace ver la importancia que tiene para los deportistas una buena superficie deportiva, acompañada de un calzado deportivo adecuado.

Uno de los mayores problemas que se han constatado en las superficies deportivas (sobre todo en investigaciones referidas al césped artificial) es la dificultad de mantener sus propiedades biomecánicas durante el paso del tiempo y con el uso (Rosa, Sanchís, Alcántara & Zamora, 2007). Las características biomecánicas más determinantes y estudiadas con respecto a las superficies deportivas dedicadas al fútbol son la amortiguación de los impactos, el retorno de energía, el agarre o tracción, la estabilidad y la abrasión.

La amortiguación de impactos es la capacidad de protección del usuario frente a los impactos propios de la carrera, saltos o caídas. (Rosa, 2009). Un impacto es una fuerza de elevada magnitud y corta duración que sucede cuando un cuerpo choca contra otro. El cuerpo humano se ve sometido a impactos cuando se frena

en su movimiento al andar, correr, saltar, etc. La fuerza de impacto da lugar a una onda de choque que se transmite a lo largo del sistema músculo-esquelético hasta la cabeza. En un estudio de Abián et al. (2007), encontraron que existía un riesgo mayor de lesión en los saltos en las situaciones deportivas donde la atención no se centra en la amortiguación de la caída (como puede ser el fútbol).

Los impactos son necesarios para el mantenimiento del sistema músculo-esquelético. En cambio, también presentan efectos perjudiciales, como lesiones por choque o impactos en exceso (pudiendo producir malestar, lumbalgias, enfermedades degenerativas articulares, etc.), (Rosa, 2009). No obstante, Abián et al. (2007) resaltan la capacidad que tiene el ser humano para protegerse activamente (mediante una técnica adecuada) del riesgo implícito de lesión al amortiguar una caída. En la reducción de la magnitud del impacto disponemos de medios naturales, tales como el tejido blando del talón o el movimiento articular, y medios artificiales, como los contrafuertes del calzado deportivo que suplementa a los medios naturales o la capacidad de amortiguación del pavimento. De esta manera, el pavimento cumple una importante función cuyos requerimientos de amortiguación deben encontrarse en un rango óptimo (ni muy alta para mantener el rendimiento, ni muy baja para evitar riesgos para la salud).

Es fundamental analizar los aspectos biomecánicos relacionados con las prestaciones de la superficie de juego, en nuestro caso sobre césped artificial, con el fin de ver la influencia de esta superficie sobre la interacción del futbolista a la hora de jugar al fútbol.

Otro elemento importante a analizar, además del impacto que recibe el futbolista que proviene de la superficie, es el retorno de energía al que se somete. En cuanto al retorno de energía, la propia interacción vertical con el pavimento provoca que este último se deforme, absorbiendo y disipando parte de la energía ejercida por el deportista. De manera que la energía no devuelta reduce el rendimiento en el gesto del jugador (Rosa, 2009). Este retorno se relaciona directamente con el rendimiento deportivo, de ahí que los jugadores prefieran en ocasiones superficies más rígidas para competir (de manera que se vea favorecida su potencia), y con menor rigidez para los entrenamientos. Una alta reducción de energía hace que al jugador de fútbol le cueste más saltar, cambiar de dirección, etc. y por ello resulta un mayor gasto energético y mayor fatiga (es similar a si las acciones se llevaran a cabo en arena de playa). Aunque con niveles similares de reducción de fuerza podemos tener diferentes comportamientos energéticos (Rosa, 2009), el retorno de energía suele estar relacionado de forma

inversa con la amortiguación de impactos del pavimento deportivo. Es decir, que normalmente cuanto menor es la amortiguación de impactos, el retorno de energía suele aumentar, y viceversa. El criterio también es mantener este retorno de energía dentro de un rango óptimo para aunar rendimiento y seguridad.

A la hora de analizar el agarre, se observa cómo está relacionado con la tracción o fricción del jugador con la superficie deportiva. La fricción es uno de los aspectos esenciales para poder desplazar la masa corporal y la tracción se refiere a cuando los tacos o clavos de la bota, se introducen en el terreno de juego (Alcántara, 2007). El agarre es un aspecto esencial en el fútbol, ya que los jugadores, gracias al calzado deportivo (en este caso, botas de tacos), se apoyan en el suelo y se desplazan por distintas direcciones y con distintas aceleraciones. Si la fuerza de fricción es baja existe un alto riesgo de deslizar y caer, además de que la impulsión que se puede ejercer con el calzado disminuye (luego disminuye el rendimiento), lo cual en ocasiones también es causa de lesiones (Ekstrand & Nigg, 1989). En cambio, si las fuerzas de rozamiento o el agarre es excesivo, esto dificultará el giro y aumentará el riesgo de sobrecargas y lesiones en los tendones y ligamentos (sobre todo de la rodilla). En este sentido podemos apreciar cómo los pavimentos son un elemento esencial a la hora de valorar las fuerzas de reacción a las que se somete el hueso del futbolista durante la práctica deportiva.

El fútbol a lo largo del tiempo ha sufrido una evolución en los distintos pavimentos empleados en su práctica, pasando de los campos de tierra a los campos de césped natural y artificial, siendo estos últimos los que más se están implantando en la actualidad (Burillo, 2009), y se hace necesario valorar la influencia de estos a nivel músculo-esquelético.

Es por ello por lo que, a través de este estudio, pretendemos observar si el césped artificial es un buen pavimento para la práctica de fútbol y los efectos osteogénicos que pudieran derivar del mismo, ya que se trata del deporte con mayores seguidores según la Encuesta Sobre los Hábitos Deportivos en España 2010 (García-Ferrando & Llopis-Going, 2011).

2.2. BENEFICIOS DE LA PRÁCTICA DE FÚTBOL SOBRE LA SALUD DE NIÑOS EN CRECIMIENTO

El cuerpo humano ha evolucionado para ser físicamente activo. El patrón del ser humano está hecho para moverse, siendo actividades como saltar y correr fundamentales para su desarrollo (Ljunggren, 2006).

A lo largo del tiempo, la supervivencia de la especie humana ha dependido de actividades como la caza o la recolección de alimentos. Ocupaciones que exigían una actividad física prolongada e intensa, siendo estas actividades desarrolladas por personas de todas las edades. Fenómeno que provocó una sociedad más activa. La mecanización y la tecnología moderna desarrolladas en las últimas décadas han hecho que el género humano sea menos activo físicamente (Aznar & Webster, 2006).

Hoy en día son numerosos los estudios que ponen de manifiesto los múltiples beneficios que derivan de la realización de actividades deportivas (Blair & Morris, 2009; Kell, Bell & Quinney, 2001). En los últimos años, la actividades deportivas se han convertido en uno de los comportamientos y hábitos considerados como más saludables, de cuyos beneficios para la salud parece haber hoy día una plena conciencia en la opinión pública (Regidor, Gutiérrez-Fisac & Alfaro, 2010).

El concepto de salud integral ha sido entendido de manera tradicional como la ausencia de enfermedades. La Organización Mundial de la Salud (O.M.S.) propuso desde su constitución en 1948 una idea de salud con un carácter global y positivo definiéndola como *“el estado de completo bienestar físico, mental y social, y no una mera ausencia de enfermedades”*.

Llevar a cabo un estilo de vida activo, donde se compagine la realización de actividades físicas con una adecuada alimentación, reduce el riesgo de padecer diferentes enfermedades como son: osteoporosis, obesidad, hipertensión, diabetes, problemas cardiovasculares, etc. (Moreno & Gracia-Marco, 2012).

La actividad física, por otro lado, permite una mejora en la calidad de vida de aquellas personas que ya les han sido diagnosticadas diferentes patologías, siendo esta una fuente de sensaciones que permite su mejora psíquica y física a lo largo de toda la vida. La actividad física nos proporciona:

➤ **Beneficios para la salud durante la infancia y madurez**

- Mantenimiento del equilibrio de energía y prevención del sobrepeso y la obesidad.
- Promoción del crecimiento y el desarrollo saludables del sistema cardiovascular y músculo-esquelético.
- Reducción de los factores de riesgo relativos a:
 - Enfermedades cardiovasculares.
 - Diabetes de tipo II.
 - Hipertensión.
 - Hipercolesterolemia.
- Mejora de la salud mental y del bienestar psicológico a través de:
 - La reducción de la ansiedad y el estrés.
 - La reducción de la depresión.
 - La mejora de la autoestima.
 - La mejora de la función cognitiva.
- Mejora de las interacciones sociales.
- Mejora de la salud durante la etapa adulta.
- Reducción de la probabilidad de convertirse en una persona obesa durante la edad adulta.
- Reducción de la morbilidad y la mortalidad derivadas de enfermedades crónicas en la edad adulta.
- Mejora de la masa ósea, reduciendo la probabilidad de padecer osteoporosis en etapas posteriores de la vida.

A continuación se señalan algunos de los efectos que derivan de la práctica de actividad física para las tres esferas que engloban la salud (Aznar & Webster, 2006):

Tabla 2.1 Efectos físicos, psicológicos y sociales de la actividad física (adaptado de Aznar & Webster, 2006).

EFFECTOS	INCREMENTA	DISMINUYE
FÍSICOS	<ul style="list-style-type: none"> - Masa libre de grasa - Mineralización ósea - Densidad ósea - Masa ósea - Colesterol HDL - Crecimiento sano de músculos, articulaciones y huesos 	<ul style="list-style-type: none"> - Riesgos de enfermedades coronarias - Riesgo de osteoporosis - Riesgo de diabetes - Obesidad - Porcentaje grasa corporal - Triglicéridos - Colesterol LDL - El desarrollo de la hipertensión arterial
PSICOLÓGICOS	<ul style="list-style-type: none"> - Confianza - Estabilidad emocional - Imagen corporal positiva - Bienestar - Eficiencia en el trabajo - Autocontrol - Independencia - Autoestima - Trabajo en equipo - La calidad del sueño 	<ul style="list-style-type: none"> - Ansiedad - Depresión - Abuso de drogas - Tensión
SOCIALES	<ul style="list-style-type: none"> - Bienestar social - Relaciones sociales 	

Por todo ello, es fundamental llevar a cabo un estilo de vida activo, donde la actividad física esté implícita dentro de la misma, entendiendo el estilo de vida como el conjunto de patrones de conducta que caracterizan la forma de ser de una persona o grupo (Mendoza, Ságrera & Batista, 1994).

2.3. BENEFICIOS ESPECÍFICOS DEL FÚTBOL EN LA COMPOSICIÓN CORPORAL

La composición corporal se relaciona con la cantidad de masa magra y el porcentaje de dicha masa que posee un individuo. La masa libre de grasa se discute con frecuencia en términos de porcentaje de grasa corporal haciendo referencia a todo el tejido corporal que no es grasa (Wilmore & Costill, 2007).

La obtención de cambios en la composición corporal es el resultado de diferentes factores como la herencia, la cantidad de actividad física realizada o los hábitos alimentarios (Ira-Fox, 2008). La práctica de ejercicio físico regular se ha convertido en uno de los pilares fundamentales de la medicina preventiva en cuanto a prevención, tratamiento y mejora de la calidad de vida ante diferentes patologías.

El sedentarismo es uno de los problemas médicos en los que hoy en día se encuentra inmersa la sociedad actual. Las conductas sedentarias llevan en muchas ocasiones a la obesidad. Se estima que aproximadamente el 10% de los niños en edad escolar del mundo tienen exceso de grasa corporal y con ello un riesgo aumentado de desarrollar enfermedades crónicas (Lobstein, Baur & Uauy, 2004). Los datos publicados hasta el momento sugieren que la obesidad infantil ha aumentado de una forma continuada en Europa a lo largo de las últimas dos décadas, a pesar de las variaciones en función de la edad, sexo y región geográfica.

La obesidad es un factor de riesgo de enfermedades cardiovasculares, diabetes mellitus, patología de la vesícula biliar y algunos tumores malignos. La distribución de la grasa corporal también es importante; el riesgo de enfermedades cardiovasculares es mayor cuando la distribución de la grasa produce un coeficiente cintura-cadera elevado o “forma de manzana” frente a la “forma de pera” (Ira-Fox, 2008).

El Índice de Masa Corporal (IMC) es considerado como la relación entre el peso en kilogramos y la talla en metros cuadrados, y es utilizado para determinar el sobrepeso en la población. La O.M.S. clasifica a las personas con un IMC de 30 o más como alto riesgo para las enfermedades de la obesidad. Un peso saludable se sitúa entre 19 y 25 kg/m².

El número de niños/as obesos/as determinará el número de adultos y, consecuentemente, de enfermos coronarios. La actividad física junto a modificaciones

nutricionales cumple un rol definido en el manejo de la obesidad juvenil, provocando cambios en la masa corporal y sobre el porcentaje de grasa corporal, así como preservar la masa del tejido magro (De Hoyo & Sañudo, 2007). Estudios como los de Baxter-Jones, Kontulainen, Faulkner y Bailey (2008), ponen de manifiesto cómo el número de jóvenes que son físicamente más activos durante la etapa de la adolescencia, se correlaciona positivamente con ser adultos físicamente activos, beneficiándose estos, por tanto, de una mejor composición corporal al presentar una menor masa grasa y mayor masa magra.

El aumento de la masa magra es uno de los predictores más importantes para la acumulación de masa ósea durante el crecimiento prepuberal en la población (Vivanco-Muñoz et al., 2012). El músculo esquelético es el principal componente de la masa magra, la participación en actividades deportivas podría tener no solo un efecto osteogénico directo, sino también una forma indirecta de aumentar la masa muscular y, con ellos, las tensiones generadas en los huesos durante los años prepúberes (Vicente-Rodríguez, 2006). Por tanto, la práctica deportiva tiene un efecto directo de ganancia de masa ósea, pero también indirecto a través del incremento de la masa magra debido al ejercicio (Hage, Courteix, Benhamou, Jacob & Jaffré, 2009; Vicente-Rodríguez et al., 2004).

Por ello, es importante valorar la composición corporal mediante diferentes técnicas antropométricas que nos permiten la estimación de la composición corporal, las dimensiones y la proporcionalidad en relación al rendimiento deportivo, la nutrición y el crecimiento (Alvero-Cruz et al., 2010).

2.3.1. Influencia de la práctica deportiva sobre la salud ósea

Todos los cambios sociales han provocado que uno de los mayores problemas médicos de la sociedad actual durante el último siglo sea el incremento de las fracturas de hueso (Cooper, Campion & Melton, 1992). Los niños cada vez realizan menos actividad física y se ven atraídos por comportamientos sedentarios como ver la televisión, estando esto asociado con un mayor riesgo de poseer una baja DMO (Gracia-Marco et al., 2012; Vicente-Rodríguez et al., 2009).

Los efectos provocados por la práctica deportiva en la infancia apoyan la conjetura sobre la persistencia de la acumulación de masa ósea durante la edad adulta (Baxter-Jones et al., 2008). Alrededor de un 90% del total de los recursos óseos que se obtienen durante la etapa adulta han sido depositados hacia el final de la adolescencia (Glastre et al., 1990; Matkovic, Fontana, Tomanic, Goel & Chesnut,

1990). El pico de masa ósea se alcanza alrededor de los 25-30 años, pero es en la adolescencia, la etapa más sensible, donde se aprecian las mayores ganancias en la masa ósea, especialmente entre los 11 y 14 años en el caso de las chicas y entre los 14 y 16 en el caso de los chicos, pudiendo alcanzar hasta un 51% del pico de masa ósea en este periodo de desarrollo puberal (Gordon, Halton, Atkinson & Webber, 1991; MacKelvi, Khan & McKay, 2002).

Aquellas actividades físicas que conllevan especialmente cargas de alto impacto, realizadas antes de la maduración del esqueleto, tienen una gran influencia en el crecimiento de la masa ósea. La práctica de ejercicio físico desde edades tempranas está justificada no sólo a nivel de mejora de la salud general, sino también a nivel de salud ósea (Gunter, Almstedt & Janz, 2012). Por ello, para obtener el máximo beneficio derivado de la práctica deportiva es preciso que este se realice antes de que los niños/as hayan superado el estadio 2-3 de Tanner (Vicente-Rodríguez et al., 2003). Una masa ósea “máxima” elevada puede actuar como un “banco óseo” en una fase posterior de la vida y reducir el riesgo de fracturas y padecer osteoporosis (Ljunggren, 2006).

2.4. ESTRUCTURA DEL HUESO

En los seres humanos, el desarrollo del esqueleto comienza en el periodo embrionario. Cuando el desarrollo fetal está completo, se han formado el esqueleto, los músculos, el tejido conjuntivo y el corazón a partir de la capa mesodérmica original embrionaria. La regulación del crecimiento del esqueleto en el niño está controlada por la hormona del crecimiento (GH) hasta la pubertad, momento en el cual la testosterona y los estrógenos desempeñan el papel más importante.

Los huesos son los órganos del sistema esquelético, y el tejido óseo es el componente estructural de los huesos. Algunas de las funciones que les atribuimos a los huesos son la fijación para los músculos (función biomecánica), proteger los tejidos delicados tales como los órganos vitales y el sistema nervioso central (función protectora), actuar como reservas de calcio y fósforo (función metabólica), e incluso participar en la formación de glóbulos rojos (Ross & Pawlina, 2009).

Dentro de la función biomecánica que desempeña el hueso se observa cómo la resistencia ósea es la capacidad que tiene el hueso de soportar y distribuir fuer-

zas mecánicas sin deformarse o perder su integridad (Seeman, 2008). El tejido óseo es una forma especializada de tejido conjuntivo, que se caracteriza por su rigidez y su gran resistencia a la tracción y la compresión. Las fibras colágenas proporcionan flexibilidad y resistencia a la tracción, mientras que el componente mineral aporta dureza, rigidez y resistencia a la compresión (Viguet-Carrin, Garnero & Delmas, 2006).

Los huesos con funciones mecánicas de palancas (especialmente los de las extremidades) deben ser muy resistentes a diferentes acciones como la torsión o la flexión, por ello están formados por huesos compactos, corticales, en disposición tubular, ya que la distancia entre la disposición del tejido óseo con respecto al eje central del hueso (momento de inercia) es el mayor determinante de su resistencia (Gómez-Alonso, Rodríguez-García & Cannata-Andía, 2009). La resistencia ósea depende de la composición y su estructura para tener suficiente elasticidad para deformarse y, al mismo tiempo, resistir cargas (si el hueso es muy rígido se quiebra y si es muy elástico se deforma). Es por ello por lo que el esqueleto de los vertebrados tiene dos propiedades que, inicialmente, pueden parecer contradictorias: debe de ser suficientemente rígido y, al mismo tiempo, debe de ser capaz de absorber una gran cantidad de energía gracias a cambios en su conformación molecular por el mismo mecanismo que les permite estirarse (Ljunggren, 2006).

2.4.1. Composición del hueso

Un hueso está compuesto típicamente por tejido óseo y otros tejidos conjuntivos, incluidos el tejido hemopoyético y el tejido adiposo, junto con vasos sanguíneos y nervios. Podemos definir el tejido óseo como un tejido conjuntivo que se caracteriza por tener una matriz extracelular mineralizada (Ross & Pawlina, 2009). La matriz ósea es mucho más abundante que el componente celular. Está constituida principalmente por dos elementos químicos: matriz orgánica y sales minerales.

El hueso produce una matriz sólida de depósitos de sales de calcio y fibras colágenas. La principal diferencia que muestra este tejido frente a otros es la mineralización de su matriz. Esto provoca un tejido muy duro capaz de promover sostén y protección (Young & Heath, 2008).

La matriz orgánica del hueso está constituida por una red de fibras de colágeno incluida en un material amorfo mucoproteico. El principal componente de la matriz orgánica es el colágeno tipo I, que representa alrededor del 95% del contenido total del colágeno y cerca del 90% del total de proteínas presentes en el hueso (Viguet-Carrin et al., 2006). Por tanto, los componentes básicos del hueso son la matriz ósea y los elementos estructurales celulares específicos, entre los que destacamos los siguientes:

Osteoblastos: sintetizan osteoide e interviene en la mineralización. La garantía de su abundancia depende en buena medida del factor de crecimiento epidérmico (EGF) que activa genes específicos (Figura 2.1).

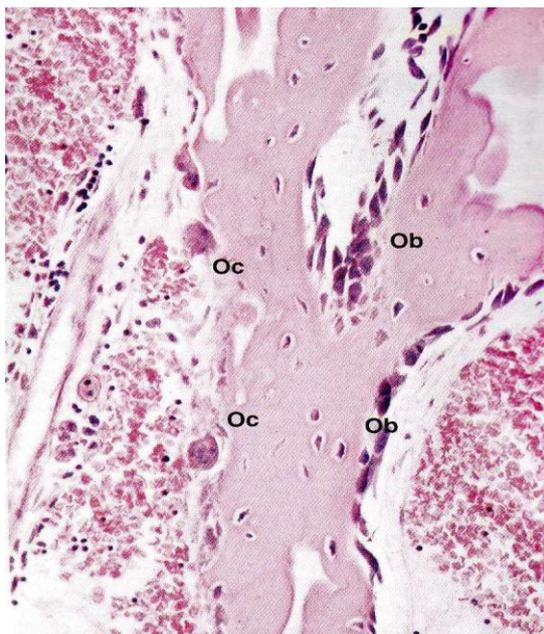


Figura 2.1. Micrografía con osteoclastos (Oc) y osteoblastos (Ob).

Osteoclastos: es el agente principal del recambio óseo (Figura 2.1). Esto le otorga una gran transcendencia, puesto que la mayoría de las enfermedades del esqueleto están ligadas a un exceso de actividad osteoclástica, que conduce a un incremento de la resorción ósea. Dentro de estas enfermedades destacamos la osteoporosis, la artritis reumatoide, la enfermedad de Paget o las metástasis óseas de los tumores malignos.

Osteocitos: constituyen el 90% de la población celular del hueso, que se encuentra distribuida a lo largo del tejido. Se trata de células diferenciadas que proceden de los osteoblastos, una vez que estos quedan encastrados en la matriz ósea que ellos fabrican.

Además del tejido óseo, el hueso como órgano incluye otros tejidos, como el cartílago, tejido conjuntivo fibroso, médula ósea y vasos sanguíneos (Shapiro, 2008).

2.4.2. Estructura del hueso

Los huesos largos del esqueleto maduro tienen una estructura hueca cilíndrica que forma el cuerpo del hueso llamada *diáfisis* y dos extremos más anchos con una superficie articular recubierta de cartílago que recibe el nombre de *epífisis*. La porción de hueso que se encuentra entre la diáfisis y la epífisis se denomina *metáfisis*, y se define como la unión de la diáfisis con la placa de crecimiento (Young & Heath, 2008) (Figura 2.2).

El crecimiento de los huesos largos tiene lugar en las placas de crecimiento epifisario a través de un proceso continuo de formación de hueso endocondral. Una vez completo el crecimiento longitudinal, se fusionan las placas epifisarias de los extremos de los huesos largos (Ljunggren, 2006; Young & Heath, 2008).

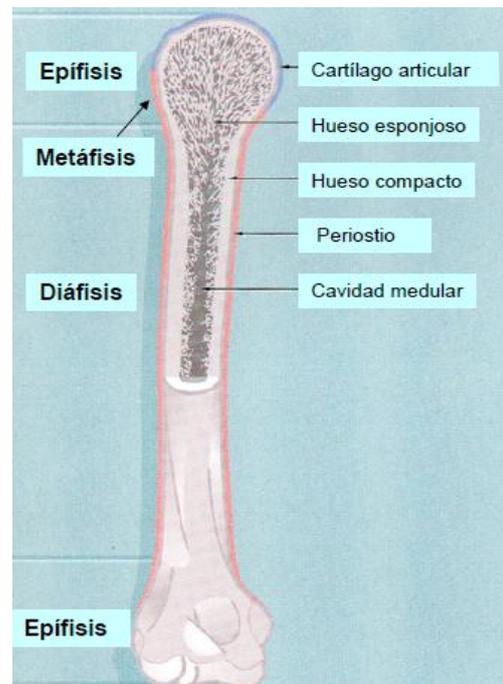


Figura 2.2. Estructura del hueso largo.

2.4.3. Tipos de hueso atendiendo a su estructura macroscópica, forma y grado de desarrollo

Se pueden diferenciar dos tipos de huesos en el esqueleto en función de su estructura macroscópica (Hernández, Talesnik, García & Reyes, 2003):

El hueso trabecular o el hueso esponjoso: se encuentra principalmente en vértebras, metáfisis y calcáneo. Sufre mayor recambio metabólico que el hueso cortical por tanto es más susceptible de ser afectado por enfermedades o medicamentos. Su función es fundamentalmente metabólica participando en la homeostasis del calcio extracelular.

El hueso cortical o hueso compacto: corresponde al 80% del total del esqueleto. Se encuentra principalmente en cuello femoral y su función principal es mecánica y protectora.

Según su forma, los huesos se pueden clasificar en cuatro grupos (Ross & Pawlina, 2009) (Figura 2.3):

Huesos largos: tienen una longitud mayor que las otras dos dimensiones y están compuestos por una diáfisis y dos epífisis, por ejemplo, la tibia y los metacarpianos. Los huesos largos tienen un cuerpo llamado *diáfisis* y dos extremos dilatados que reciben el nombre de *epífisis*. La superficie articular de la epífisis se halla cubierta de cartílago hialino. La porción dilatada del hueso que está entre la diáfisis y la epífisis se denomina *metáfisis* y se extiende desde la diáfisis hasta la línea epifisaria. Una *cavidad medular* forma la parte interna del hueso. La diáfisis está formada por tejido óseo compacto y sólo una cantidad pequeña de tejido óseo esponjoso. En las epífisis el hueso esponjoso es abundante y el tejido óseo compacto apenas forma una delgada cubierta externa.

Huesos cortos: tienen sus tres dimensiones casi iguales, un ejemplo de ellos sería los huesos del carpo.

Huesos planos: son delgados y anchos, encontrando entre ellos, los huesos de la calota craneana y el esternón. Están formados por dos capas de tejido óseo compacto bastante gruesas con una capa interpuesta de tejido óseo esponjoso. Los huesos planos, al igual que los cortos, poseen una fina corteza de tejido óseo compacto, en su interior hay tejido óseo esponjoso y espacios medulares. Estos huesos suelen formar articulaciones móviles. Poseen cartílago hialino en sus superficies. El resto de la superficie externa del hueso está cubierto por una cápsula de tejido conjuntivo llamado *periostio*.

Huesos irregulares: poseen una forma que no permite clasificarlos dentro de ninguno de los tres grupos anteriores, la forma puede ser compleja (ejemplo: vértebras) o el hueso puede contener espacios aéreos o senos (ejemplo: etmoides).

Si atendemos al grado de desarrollo del hueso encontramos el **hueso laminar** y el **no laminar o reticular**. El primero es una forma inmadura y en él las fibras de colágeno del osteoide se distribuyen al azar. El hueso laminar está formado por haces de colágeno paralelos y regulares dispuestos en láminas. El hueso no laminar se forma cuando los osteoblastos producen osteoide con rapidez, como sucede durante el desarrollo fetal y, en los adultos, en el caso de una neoformación ósea rápida patológica, por ejemplo, en la consolidación de una fractura o en la enfermedad de Paget. El hueso no laminar así formado termina por ser

remodelado a hueso laminar, que es más fuerte y más elástico. La mayor parte del total de los huesos del adulto sano son laminares.

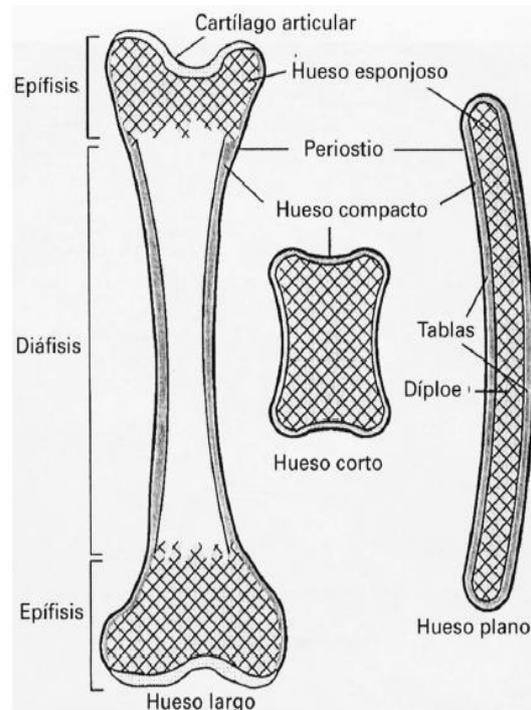


Figura 2.3. Tipos de Hueso según su forma (Ross & Pawlina, 2009).

2.5. REMODELADO ÓSEO

El hueso es un tejido de origen conectivo, de carácter dinámico, que como se ha señalado anteriormente desempeña primordialmente una función de sostén y una labor metabólica. Ambas funciones son posibles gracias a un proceso continuo de recambio al que se ven expuestos los huesos, conocido como remodelado óseo (RO).

Durante la niñez y la adolescencia hay un modelado constante del hueso que comprende el crecimiento longitudinal, transverso y por aposición. Es preciso señalar dos actividades celulares básicas, el depósito mineral y la reabsorción ósea. Ambas permiten los procesos de crecimiento y remodelado (Figura 2.4). El crecimiento del hueso endocondral se inicia en el segundo trimestre de la vida fetal y continúa después del nacimiento hasta el principio de la vida adulta (Ross & Pawlina, 2009).

El RO es una compleja secuencia de eventos celulares que tiene como función principal el “rejuvenecimiento de los huesos”. Por otro lado, el RO desempeña un papel importante en el control de la homeostasis mineral, mediante la liberación de iones de calcio y fósforo al torrente sanguíneo. Cualquier desequilibrio en este balance resorción-formación conduce a una pérdida del tejido óseo si la resorción excede la formación (Young & Heath, 2008).

El desarrollo del RO se lleva a cabo en múltiples unidades microscópicas bien delimitadas, dispersas por todo el esqueleto. En cada una de ellas, el hueso es destruido y después sustituido por otro recién formado. El conjunto de células que desarrollan este proceso en cada una de las localizaciones, constituye lo que llamamos “Unidades de Remodelación Ósea” (URO), (Roca et al., 2010). Este proceso que se produce a lo largo de toda la vida es controlado por una permanente etapa de reabsorción llevada a cabo por los osteoclastos y seguido por un perfecto equilibrio de formación realizado por los osteoblastos.

El hueso renueva cada año el 25% del hueso trabecular y el 3% del hueso cortical. Mediante estas remodelaciones óseas se evita la aparición de lesiones por fatiga, manteniendo una estructura que permita la adaptación de las tensiones mecánicas (Castelo-Branco, 2009).

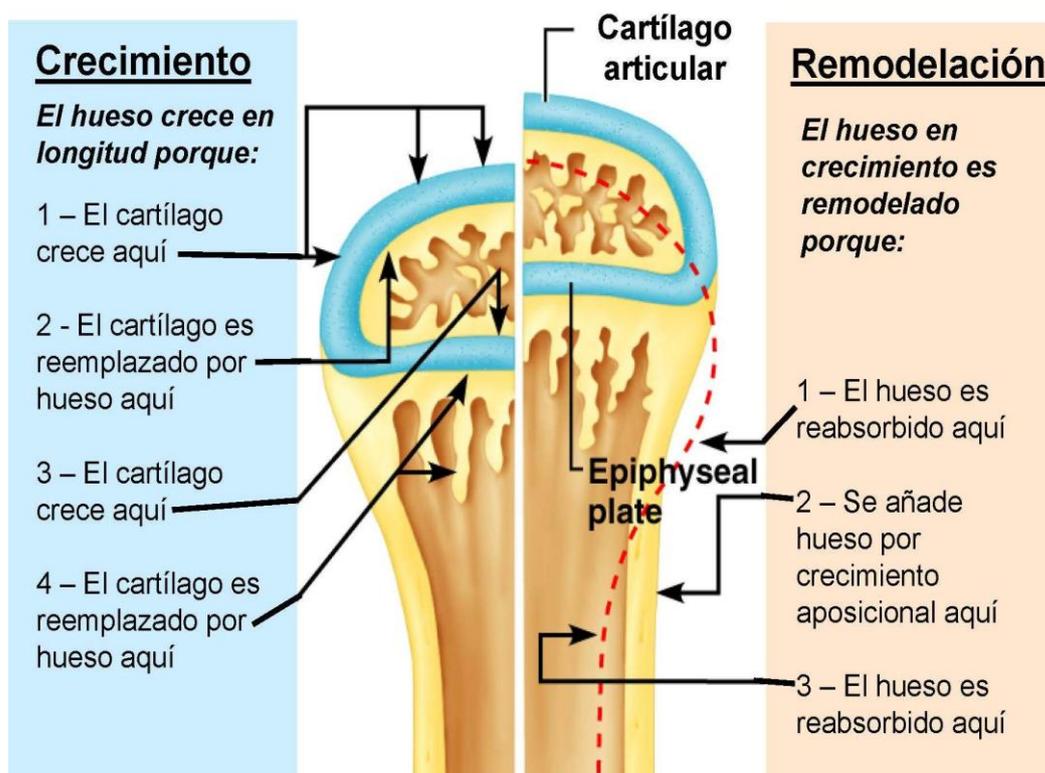


Figura 2.4. Crecimiento y remodelación ósea. Adaptado de Ross y Pawlina, (2009).

En la fase de crecimiento y modelado, hay un desequilibrio entre la formación y la resorción de hueso. Durante este período, el esqueleto alcanza su forma y densidad finales (Maïmoun & Sultan; 2011). A partir de los 20 a 30 años el recambio esquelético anual supone alrededor del 5 al 10% de la masa ósea total y hay un equilibrio entre la cantidad de hueso que se forma y que se reabsorbe. A continuación, a partir de los 30 a 40 años, la cantidad de hueso que se reabsorbe comienza a superar a la que se renueva (Ljunggren, 2006). El resultado es una disminución constante de la masa ósea en un pequeño porcentaje anual. El proceso de remodelado completo dura unos 10 años. Se calcula que en un adulto joven se ponen en marcha 3-4 millones de URO cada año (Castelo-Branco, 2009).

2.6. LA OSTEOPOROSIS COMO ENFERMEDAD QUE SE INICIA EN LA INFANCIA

2.6.1. Osteoporosis

La osteoporosis se incluye dentro del grupo de enfermedades que constituyen los mayores problemas de salud para el mundo, tanto por su extensión como por sus consecuencias socioeconómicas. Actualmente cada año se producen en todo el mundo cerca de 1.6 millones de fracturas de cadera. El riesgo de presentar una fractura osteoporótica a lo largo de la vida es aproximadamente del 40%. Se estima que en el año 2050, si el incremento de fracturas sigue al ritmo actual, la incidencia en todo el mundo de fractura de cadera aumentará un 310% en varones y un 240% en mujeres, alcanzando valores entre 4.5 y 6.3 millones de fracturas anuales (Cooper et al., 1992; Gullberg, Johnell & Kanis, 1997).

Los seres humanos están genéticamente programados para una vida de ejercicio con cargas de peso, una dieta rica en calcio y una exposición frecuente a la luz solar. La revolución industrial cambió radicalmente nuestra forma de vida, y la osteoporosis ha aumentado notablemente durante el último siglo. Este aumento se ha acentuado durante las últimas décadas. Una proporción considerable de medidas preventivas están relacionadas con el estilo de vida, con el propósito de conseguirlo y que se asemeje en lo posible al original (Ljunggren, 2006).

Con la edad avanza la mala calidad del hueso, los individuos se vuelven más vulnerables a padecer fracturas como consecuencia de la pérdida de espesor del hueso.

El triángulo de Ward's es el lugar donde existe una relación más fuerte entre la pérdida de masa ósea a medida que aumenta la edad (Figura 2.5). Otras zonas vulnerables donde se produce una relación entre la edad y la pérdida de masa ósea son el cuello del fémur, el trocánter y, por último, la columna lumbar (Pérez-Martín et al., 2008).

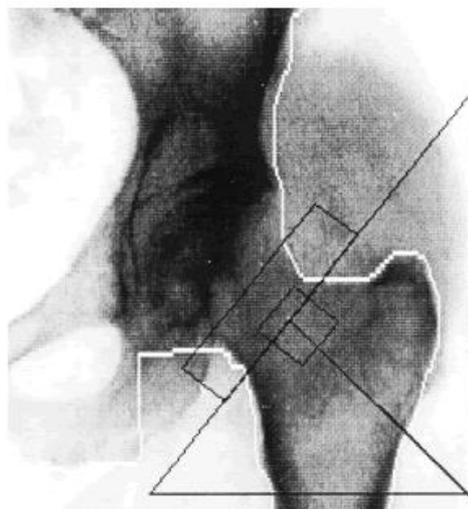


Figura 2.5. Triángulo de Ward's

Los sujetos que tienen probabilidad de desarrollar osteoporosis, pueden identificarse mediante un estudio de densitometría de fotón dual de rayos X. En este proceso se hacen pasar rayos X de bajas dosis a través del hueso y, contando el número de fotones detectados y sabiendo la dosis administrada, resulta posible calcular el número de rayos X absorbido. La cantidad de rayos X absorbida puede correlacionarse directamente con la masa ósea, pudiendo utilizarse para predecir si un individuo tiene riesgo o no de padecer fracturas osteoporóticas (Drake, Vogl & Mitchell, 2007).

Los valores de DMO se exponen en valores absolutos (g/cm^2) y en desviaciones estándar en relación con una población de referencia. El concepto de T se refiere al pico máximo de masa ósea que se alcanza en la vida adulta, por lo que la escala T representa el número de desviaciones estándar que un valor de masa ósea está por encima o por debajo del valor medio de la población joven (Ferrández & Herrera, 2006).

El concepto de Z se refiere a la comparación con los valores de masa ósea referidos a una población general de su edad y sexo. La O.M.S. ha definido la osteoporosis según criterios densitométricos, denominando osteopenia a aquellos valores de masa ósea que se encuentran entre 1 y 2.5 desviaciones estándar por debajo de la media del valor normal en mujeres premenopáusicas, y osteoporosis a los que se encuentran por debajo de 2.5 desviaciones estándar (Tabla 2.2).

Tabla 2.2. Criterios densitométricos en osteoporosis.

Normal	Escala T > -1
Osteopenia	Escala T < -1 y ≥ 2.5
Osteoporosis	Escala T < -2.5
Osteoporosis grave o establecida	Escala T < -2.5 y fractura (s) bajo impacto

2.6.1.1. Definición

La osteoporosis es un problema sanitario global cuya importancia va en aumento con el envejecimiento de la población. Se trata de una enfermedad metabólica del hueso que se caracteriza por una masa ósea baja y deterioro de la microarquitectura del tejido óseo, con el consecuente incremento de la fragilidad ósea y una mayor susceptibilidad a las fracturas (Mauck & Clarke, 2006). En definitiva, se trata de una condición fisiopatológica en la cual la calidad ósea es normal, pero la cantidad de hueso es deficiente (Drake et al., 2007) (Figura 2.6 y 2.7).



Figura 2.6. Muestra de biopsia con un espesor de hueso normal (Drake et al., 2007).



Figura 2.7. Muestra de biopsia de una persona con osteoporosis (Drake et al., 2007).

La disminución de la resistencia ósea produce un aumento de la posibilidad de padecer osteoporosis. Esta resistencia está representada mediante la DMO. A su vez también es importante señalar la importancia de la calidad ósea, término de gran complejidad en el que englobamos diversos aspectos como son el remode-

lado óseo, la macroarquitectura y microarquitectura que presenta el hueso y las propiedades materiales del tejido óseo.

2.6.1.2. Factores de riesgo de la osteoporosis

Este trastorno metabólico afecta frecuentemente a mujeres entre los 50 y 60 años de vida y a hombres a los 70 años de edad, siendo cada vez más el número de hombres a los que se les ha diagnosticado y a edad más joven (Nogués, Guerri, Solé & Díez-Pérez, 2010). El percentil de masa ósea que tiene una persona tiende a mantenerse constante a lo largo de la vida. Es por ello, por lo que la adquisición de un bajo nivel de CMO y DMO en edades tempranas hace que en el futuro sea más fácil padecer osteopenia temprana y finalmente desarrolle osteoporosis a medida que avanza la edad.

Las formas de presentación más habituales en un niño con osteoporosis son las fracturas frecuentes, hallazgo de osteopenia en una radiografía, dolores óseos con o sin alteración de la marcha, y, lo que es más frecuente, la derivación para estudio y seguimiento de un niño con una enfermedad de riesgo. Es muy poco frecuente que una enfermedad crónica debute por la osteoporosis secundaria, a la excepción de la leucemia linfática aguda. La mayoría de las enfermedades endocrinológicas, a excepción del síndrome de Cushing o hipogonadismo, producen una disminución leve de la DMO. La osteoporosis que se presenta sin factores de riesgo evidentes en el niño, en la mayoría de los casos será de causa genética (Hernández et al., 2003).

Si atendemos a los factores que implican el desarrollo de la osteoporosis podemos apreciar cómo existen dos grandes bloques: factores no modificables y factores modificables.

➤ FACTORES NO MODIFICABLES

Edad

A partir de los 20 a los 80 años podemos apreciar cómo se produce una pérdida ósea en ambos sexos que varía en menor o mayor medida en función de la región corporal. Se observa una pérdida del 12 al 14% en la columna y entre el 19 al 30% en el antebrazo y cadera (Warming, Hassager & Christiansen, 2002).

A la hora de determinar la pérdida de DMO por sexos, se muestra cómo las mujeres presentan una pérdida ósea más acelerada a partir de los 50 años, igualándose el ritmo de pérdida ósea en ambos sexos a partir de los 65 años (Steiger, Cummings, Black, Spencer & Genant, 1992).

Sexo femenino

La deficiencia de estrógenos es considerada como una de las causas fundamentales de la osteoporosis, ya que produce una pérdida ósea de mayor ritmo frente al hombre. La International Osteoporosis Foundation establece cómo una de cada tres mujeres mayores de 50 años la padece.

Factores genéticos

Alrededor del 70 al 60% de la calidad de la masa ósea está determinada genéticamente. El carácter hereditario de la calidad de la masa ósea y la tendencia familiar a desarrollar osteoporosis durante la edad avanzada es un factor determinante ante la presencia y desarrollo de esta enfermedad (Kelly, Eisman & Sambrook, 1990).

Raza

Si atendemos a la raza como factor predeterminante para padecer osteoporosis, observamos cómo las mujeres de raza blanca tienen un riesgo mayor de fracturas en comparación con mujeres de raza negra (Cauley et al., 2005). Por otro lado, la osteoporosis es más frecuente en individuos de raza caucásica y de raza asiática (International Osteoporosis Foundation, 2008).

➤ FACTORES MODIFICABLES

Actividad Física

La escasez de actividad física condiciona una disminución de la masa ósea en personas que debido a diversos motivos permanecen inmóviles durante un periodo prolongado de tiempo o en aquellos que en su estilo de vida no introducen comportamientos activos (Martyn-St James & Carroll, 2008; Sabo et al., 2001).

Tabaco y alcohol

El tabaco ha sido identificado como un factor de riesgo para la osteoporosis, ya que inhibe la actividad de los osteoblastos (Kanis et al., 2005). Si atendemos a la

ingesta de alcohol en grandes dosis, produce una disminución de la DMO y aumenta el riesgo de fracturas (Peris et al., 1995).

Calcio y vitamina D

Un aporte deficiente de calcio se relaciona con una disminución de la DMO y un mayor riesgo de padecer fracturas. En el mismo sentido, niveles insuficientes de vitamina D representan un factor de riesgo para poseer una baja masa ósea, mayor posibilidad de padecer fracturas, así como un aumento de caídas (Heaney, 2007).

Delgadez

Aquellas mujeres que presentan bajo peso corporal así como pérdidas de peso tienen una mayor predisposición a padecer fracturas por la fragilidad de sus huesos. En este sentido es importante señalar cómo el tejido adiposo de la mujer posmenopáusica es una importante fuente de estrógenos (Ensrud, Cauley, Lipschutz & Cummings, 1997).

A modo de resumen, a continuación se presenta un esquema de los factores influyentes en el desarrollo de la osteoporosis siguiendo la clasificación de Castelo-Branco (2009) (Figura 2.8).

Normalmente coinciden varios de estos factores, clasificando la osteoporosis en primaria (siendo el principal factor involucrado la edad-osteoporosis senil o la menopausia-osteoporosis posmenopáusica) o secundaria (enfermedades que por sí solas pueden provocarlas como el hipotiroidismo o tratamientos farmacológicos como los corticoides) (Kanis et al., 2008).

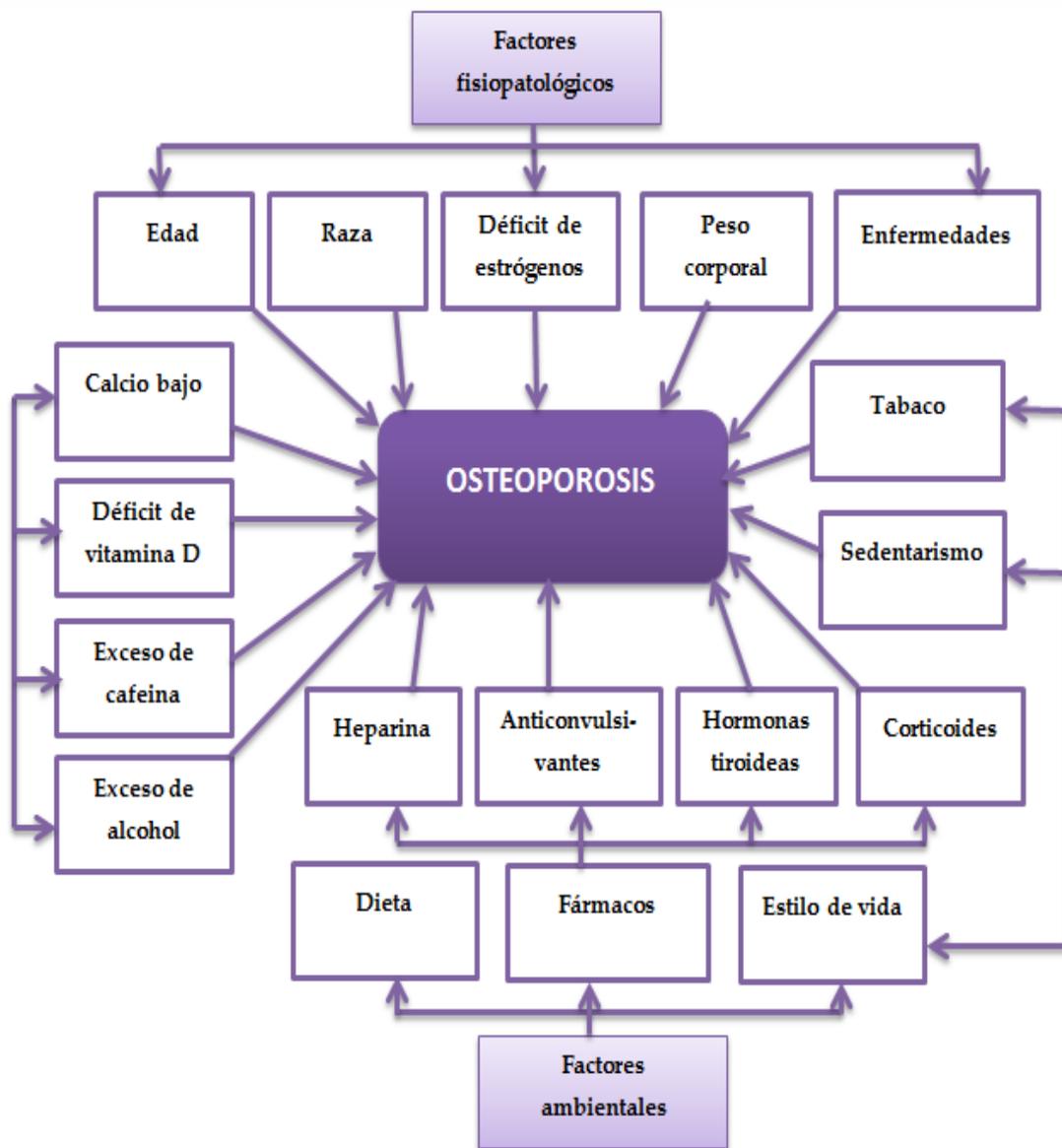


Figura 2.8. Factores de riesgo de osteoporosis (Adaptado de Castelo-Branco, 2009).

2.6.2. Métodos de diagnóstico

Para el diagnóstico de la osteoporosis se utilizan diferentes métodos que nos permiten determinar la existencia de la misma. La densitometría fotónica dual de rayos X (DXA) o también llamada densitometría ósea, es el estándar actual establecido para medir la densidad mineral ósea (DMO) (Vicente-Rodríguez et al., 2009).

A través de esta prueba podemos identificar el riesgo de fractura que presenta un sujeto así como el estado de su DMO. Esta metodología ha sido utilizada en diversos estudios (Baxter-Jones et al., 2008; Vicente-Rodríguez, Dorado, Pérez-

Gómez, González-Henriquez & Calbet, 2004; Zouch et al., 2008). A continuación se exponen otras técnicas empleadas.

Otras técnicas empleadas son los marcadores bioquímicos del remodelado óseo, radiografía, resonancia magnética (RM), tomografía axial computarizada (TC), métodos de evaluación periféricos de la DMO o la biopsia ósea.

2.6.2.1. Marcadores bioquímicos del remodelado óseo

Los marcadores bioquímicos del remodelado óseo son determinaciones analíticas que miden enzimas sintetizadas por los osteoblastos o los osteoclastos, o bien productos generados durante la formación o degradación de la matriz ósea y que se liberan en la circulación. Su ubicación en la sangre o en la orina nos permite un análisis dinámico y global del esqueleto, que complementa el análisis estático de la medición de la masa ósea e identifica cambios en el recambio óseo en periodos cortos de tiempo. Además, debido a que es una prueba no invasiva, nos permite su repetición en el tiempo (Camacho & Kleerekooper, 2006). Los marcadores óseos que derivan de los osteoblastos se denominan “marcadores de formación”, y los que provienen del número o de la actividad de los osteoclastos reciben el nombre de “marcadores de reabsorción”.

La utilidad de los marcadores bioquímicos es valorar la calidad ósea en base a su capacidad para predecir el riesgo de fractura. Es importante señalar cómo estos marcadores no sustituyen las pruebas de medición de masa ósea, siendo de gran utilidad como prueba complementaria (Guañabens, 2010).

2.6.2.2. Radiología

La radiografía simple es la prueba más sencilla de realizar. Los rayos X son fotones y se generan a partir de un tubo complejo de rayos X. A continuación los rayos X son colimados hacia la zona determinada. A medida que los rayos X atraviesan el cuerpo van siendo atenuados por los tejidos. El hueso es quien más atenúa los rayos X, observando cómo éstos aparecen de color blanco en la placa ya que esta región ha sido expuesta a la mínima cantidad de rayos X (Drake et al., 2007).

La utilización de esta técnica de diagnóstico muestra ciertos inconvenientes, como es su baja sensibilidad y especificidad para el diagnóstico de enfermedades como la osteoporosis. Mediante esta técnica, en ausencia de fractura, la osteopenia solo puede detectarse cuando se ha perdido entre el 30 y el 40% del tejido óseo del paciente, y la única característica visible es la existencia de un hueso que presenta una densidad inferior a la normal (Lachmann & Whelan, 1936).

2.6.2.3. Resonancia Magnética (RM)

Mediante la resonancia magnética (RM) se pueden obtener imágenes en cualquier plano y en la mayoría de las secuencias. Se trata de una técnica que nos permite obtener imágenes de mayor resolución.

Para la obtención de una imagen mediante esta técnica se sigue un largo proceso que depende de los protones libres en los núcleos de hidrógeno de las moléculas de agua. Para ello se expone al paciente dentro de un campo magnético intenso, con lo que los imanes se alinean. A continuación se lanza un pulso de onda de radio a través del paciente, provocando que los imanes se desvíen y a medida que recuperan su posición de alineación, emiten pequeños pulsos de radio. La intensidad, frecuencia y tiempo que tardan los protones en retornar a su estado preexcitado da lugar a una señal. Estas señales son finalmente analizadas por un ordenador creando una imagen (Drake et al., 2007).

2.6.2.4. Tomografía Computarizada (TC)

La tomografía computarizada (TC) nos permite obtener una serie de imágenes del cuerpo en el plano axial. Para ello el paciente es tumbado en la camilla para que un tubo de rayos X pase en torno a su cuerpo produciendo imágenes, que posteriormente mediante transformaciones matemáticas dan lugar a la imagen final. Las dosis de radiación emitidas por la TC al igual que la RM son mucho mayores que la radiografía simple.

2.6.2.5. Biopsia ósea

La biopsia ósea se realiza con el propósito de obtener un diagnóstico preciso para establecer un tratamiento. Se trata de una prueba que nos permite evaluar con mayor exactitud, y en conjunto, la masa ósea, la microarquitectura tisular y la actividad metabólica del hueso (Mariñoso-Barba, 2010).

En el caso de la osteoporosis esta técnica nos permite estudiar la microarquitectura del tejido óseo y, tras un tratamiento, identifica si la pérdida de masa ósea está relacionada con el aumento del grosor de las trabéculas o con el aumento de la conexión intratrabecular (Mariñoso-Barba, 2010).

2.6.2.6. Densitometría ósea

La técnica de la densitometría fotónica dual de rayos X evolucionó a partir de las técnicas de absorciometría de fotones de una o doble energía que se emplearon entre 1963 y 1984. Las técnicas iniciales se emplearon para calcular el contenido regional mineral óseo y la densidad mineral ósea, sobre todo en la columna vertebral, la pelvis y el fémur. La nueva técnica DXA permite cuantificar no solo la composición del hueso, sino también permite valorar las partes blandas, obteniendo cálculos regionales y de todo el cuerpo. Los datos de los estudios sugieren que la DXA obtiene cálculos precisos y fiables de la composición corporal (Wilmore & Costill, 2007).

La toma de imágenes con rayos X supone la exposición de una parte del cuerpo a una pequeña dosis de radiación ionizante para producir imágenes del interior del cuerpo. La imagen digitalizada en función de la atenuación de dos haces colimados de rayos X, de alta y baja energía, de un determinado sector anatómico (Gómez-Alonso & Bernardino, 2002; Kanis & Glüer, 2000).

Los equipos DXA utilizan un tubo de rayos X como la fuente de fotones dirigido a la zona de interés. La cantidad de mineral óseo en el tejido, a través del cual cruza el haz de fotones, se calcula con la cantidad de energía de los fotones que alcanza el detector; los fotones no detectados se asume que han sido absorbidos por el hueso.

La determinación de la densidad en cada una de las exploraciones se realiza mediante un proceso matemático que se inicia con la diferencia de tejidos óseos

respecto a tejidos blandos, diferencia de la captación del haz de baja y alta energía, determinación del área explorada (cm^2) determinación del contenido de mineral óseo (CMO) en gramos, y con el cociente de ambos se obtiene la DMO en g/cm^2 (Gómez-Alonso & Bernardino, 2002).

Aunque existen diferencias en los tipos de filtros, número de detectores y emisores de rayos X, sistemas de calibración y algoritmos para la selección de las diferentes áreas que pueden ser exploradas mediante esta técnica, son estos dos últimos los responsables de que se obtengan valores idénticos por densitómetros de diferentes casas comerciales como puedan ser Hologic o Lunar.

El densitómetro está formado por una unidad de exploración sobre la que el paciente se tumba durante la realización del escáner. Por otro lado dispone de una consola que permite al manipulador colocar en la posición adecuada al sujeto para realizar la exploración.

Las mediciones por DXA emiten dosis muy bajas de radiación (menos de 1 a 3 milirems), menos de la décima parte de la dosis emitida para una radiografía de tórax (Ross & Pawlina, 2009).

La exploración de cuerpo entero aporta información de la composición corporal no solo de la DMO, sino también de los tejidos blandos como son la masa muscular y la masa grasa de diferentes secciones corporales.

Se trata de una prueba rápida y segura, con un tiempo de exploración que varía en función de la casa comercial del densitómetro así como de la exploración que se realice, estando entre los 3 y 15 minutos. Es preciso señalar en este sentido, la influencia que tiene en el tiempo de exploración la resolución de las imágenes, pudiéndose reducir en más de un 50% el tiempo empleado, con una resolución más baja o de menor calidad en la imagen obtenida (Gómez-Alonso & Bernardino, 2002). A continuación se destacan algunas de las ventajas e inconvenientes que presenta esta técnica (Tabla 2.3):

Tabla 2.3. Ventajas y desventajas del DXA (Adaptación de De la Higuera et al., 2004).

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> - Gran versatilidad. - Poca exposición a la radiación. - Precisa y fiable. - Predice el riesgo de sufrir fracturas óseas. - Útil para controlar la respuesta frente a un tratamiento. - Técnica pasiva. 	<ul style="list-style-type: none"> - Tamaño del equipo - El equipo no es portátil. - Coste elevado.

Los valores obtenidos de DMO deben de ser considerados en función de los valores de su población control, bien respecto al pico de masa ósea de la población joven sana o con respecto a su grupo de valor de la DMO en desviaciones estándar respecto al valor medio de la población. La estandarización debe de llevarse a cabo mediante valores válidos de la misma población estudiada. En el caso de España, existe un gran estudio en el que se establecen valores de pico de masa ósea a nivel de la columna vertebral y de cadera para ambos sexos (Tabla 2.4).

Tabla 2.4. Valores de pico de masa ósea DMO (g/cm²) en población sana española en diferentes anatómicos para Hologic (Gómez-Alonso, 1996).

Sector	Hombres		Mujeres	
L2-L4	1.030 ± 0.125	1.033 ± 0.106	1.030 ± 0.125	1.033 ± 0.106
Cabeza Fémur	0.927 ± 0.124	0.840 ± 0.109	0.927 ± 0.124	0.840 ± 0.109
Trocánter	0.774 ± 0.115	0,668 ± 0.085	0.774 ± 0.115	0.668 ± 0.085
Intertrocantérea	1.195 ± 0.170	1.062 ± 0.116	1.195 ± 0.170	1.062 ± 0.116
Triángulo de Ward	0.784 ± 0.173	0.727 ± 0.101	0.784 ± 0.173	0.727 ± 0.101
Total	1.031 ± 0.142	0.919 ± 0.097	1.031 ± 0.142	0.919 ± 0.097

Estos valores fueron establecidos mediante el uso de un densitómetro Hologic, siendo posible su estandarización a otros densitómetros DXA (Genant et al., 1994). A nivel internacional encontramos como valores de referencia de normalidad los obtenidos en el estudio de población norteamericana NHANES III (Kanis & Glüer, 2000).

Por todo esto, es necesario llevar a cabo un estilo de vida saludable en el que la realización de actividad física, así como una adecuada alimentación, sean la base para adquirir una adecuada salud ósea desde edades tempranas, pudiendo prevenir la aparición de futuras fracturas (Rizzoli, Bianchi, Garabédian, McKay & Moreno, 2010).

SEGUNDA PARTE

ANÁLISIS EMPÍRICO

C

APÍTULO 3

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. INTRODUCCIÓN

A continuación se va a expresar de manera esquemática el diseño experimental que conforma los estudios de esta tesis doctoral, así como el nexo que une cada uno de ellos. Seguidamente se expondrá de manera exhaustiva la muestra y las pruebas realizadas así como los protocolos usados en las mismas, variables del estudio y análisis estadístico.

El trabajo presentado se ha estructurado en tres estudios (Tabla 3.1.). Inicialmente se comparó la composición corporal (masa ósea, masa grasa y masa muscular) en niños prepúberes (Tanner \leq II) que practicaban fútbol sobre césped artificial y sobre tierra, comparados éstos a su vez por un grupo sedentario de la misma edad que no realizaba ningún tipo de actividad física fuera del horario escolar. A su vez se analizó la relación existente entre la superficie de juego y el CMO y la DMO, así como determinar en qué medida los campos en los que entrenaban los niños cumplen con la normativa UNE-EN 15530-1:2007 (Estudio 1). En un nuevo estudio se volvió a analizar a los mismos niños 24 meses después, con el fin de analizar la influencia de la práctica de fútbol sobre césped artificial y tierra durante un periodo longitudinal (Estudio 2). Con el fin de analizar el efecto osteogénico derivado de la práctica de fútbol sobre césped artificial en ambos sexos, se procedió a estudiar la masa ósea en un grupo de niñas prepúberes (Tanner \leq II) y un grupo de niñas peripúberes (Tanner \geq III) jugadoras de fútbol, en comparación con dos grupos de niñas sedentarias del mismo desarrollo sexual (Estudio 3).

Tabla 3.1. Estudios que forman la Tesis Doctoral.

ESTUDIO	MUESTRA
1. Influencia de la práctica de fútbol sobre césped artificial y tierra en la masa ósea de niños prepúberes.	n= 42
2. Incremento de la masa ósea en niñas futbolistas prepúberes y peripúberes	n= 65
3. Efectos de la práctica de fútbol sobre la masa ósea en niños prepúberes en función de la superficie de juego (césped artificial y tierra) tras 24 meses de seguimiento.	n= 82

3.2. HIPÓTESIS

La infancia y la adolescencia es un proceso que implica muchos cambios en los niños, tales como modificaciones en la composición corporal, observándose incrementos en la masa ósea que pueden determinar en gran medida la salud ósea en edades adultas. El estilo de vida y especialmente la práctica de actividades deportivas como el fútbol durante la etapa de desarrollo de los niños, produce efectos positivos en la acumulación de masa ósea en comparación con la acumulación producida en niños sedentarios, pudiendo presentar diferencias en función de la superficie de juego.

3.3. OBJETIVOS

El objetivo general de la presente Tesis Doctoral es mejorar y aumentar el conocimiento sobre la influencia que deriva de la práctica de fútbol sobre césped artificial en la masa ósea de niños y niñas en crecimiento.

Los objetivos específicos de los tres estudios que componen esta Tesis Doctoral son los siguientes:

Estudio 1. Determinar la influencia de la práctica de fútbol sobre terrenos duros (tierra) vs superficies blandas (césped artificial), en la densidad y contenido mineral óseo de niños en crecimiento.

Estudio 2. Determinar la influencia de la práctica de fútbol sobre la masa ósea en niñas de 8 a 14 años en comparación con niñas sedentarias de las mismas edades, para examinar si esta influencia es independiente del estado de desarrollo puberal.

Estudio 3. Evaluar el desarrollo de la masa ósea y la densidad en niños pre-púberes que juegan al fútbol en superficies blandas (césped artificial) y duras (tierra), con el fin de establecer qué tipo de superficie produce un mayor efecto osteogénico tras veinticuatro meses de seguimiento.

3.4. MATERIALES Y MÉTODOS

3.4.1. Muestra

Se realizó una selección previa de los participantes excluyendo todos aquellos niños/as que realizaban otra actividad física además de la práctica del fútbol. Por otro lado, en el caso de los niños, se dejó fuera de la participación del estudio a aquellos cuyo desarrollo sexual en la primera toma de datos (Estudio 1) era superior a Tanner II, ya que no se encontraban dentro del estado prepube-ral.

Los sujetos fueron seleccionados de diferentes escuelas y clubes de fútbol. Se contactó con aquellas que entrenaban sobre césped artificial y tierra, para explicarles previamente el objetivo de la investigación y cómo se iba a llevar a cabo. Se les explicó los periodos de realización de las pruebas, así como las pruebas que se les realizarían a los niños y al campo de fútbol sobre el que entrenaban y jugaban.

Una vez aceptada la participación por parte de los directivos y equipo técnico de las escuelas y clubes de fútbol se contactó con los padres para explicarles el proyecto y el papel que desempeñaban sus hijos en el mismo. Se les informó sobre los objetivos y los procedimientos del estudio, así como los posibles riesgos y beneficios antes del comienzo del estudio. Los padres dieron su consentimiento informado por escrito para que quedase constancia de su aceptación en la participación del proyecto. A continuación, todos los participantes contestaron un cuestionario sobre su actividad física y médica. Este cuestionario recoge los aspectos más relevantes de la vida deportiva de los niños (años de práctica deportiva, horas de entrenamiento, deportes practicados a lo largo de su vida, etc.), así como los aspectos importantes de su historial médico (enfermedades padecidas, fracturas óseas sufridas, medicación, etc.).

A su vez, se habló con colegios para que formasen parte del estudio, al participar sus alumnos/as como grupo control, llevando el mismo procedimiento con los padres que en el grupo de los niños/as que practican fútbol. Finalmente la distribución de los participantes en cada estudio quedó de la siguiente manera:

3.4.1.1. Participantes estudio 1

Un total de 42 niños varones de 8 a 10 años que fueron divididos en 3 grupos (Tabla 3.2). Todos los niños tenían un desarrollo sexual similar, estando en el estadio I y II del test de Tanner. Por otro lado, los niños que practicaban fútbol tenían un número de horas de entrenamiento a la semana muy similar y el campo de fútbol en el que llevaban a cabo su actividad deportiva tenía una edad similar al de resto de campos del estudio. En total 6 equipos fueron seleccionados para formar la muestra, siendo 2 de tierra y tres de césped artificial.

Tabla 3.2. Distribución de la muestra estudio 1.

Grupo 1: tierra	Grupo 2: césped artificial	Grupo 3: sedentarios	TOTAL
14	14	14	42

3.4.1.2. Participantes estudio 2

En el estudio participaron un total de 65 niñas de entre 8 a 14 años (Tabla 3.3). Se dividieron en cuatro grupos en función del Tanner (niñas prepúberes con Tanner \leq II y niñas peripúberes con Tanner \geq III) y de si practicaban fútbol o no realizaban ninguna actividad física fuera del marco escolar. De todas ellas, 40 eran jugadoras de fútbol, con una carga de entrenamiento similar (3 horas a la semana de entrenamiento más un día de partido en competición reglada). Las sesiones de entrenamiento tenían una duración de una hora en las que se incluían alrededor de 10 min de juego a baja intensidad y ejercicios de estiramiento, 10-25 minutos de ejercicios de técnica de fútbol (remates de cabeza, golpeo de balón, regates, fintas, etc.). Además de los entrenamientos, todas las niñas jugaban un partido de fútbol de liga, con una intensidad variada en función de la posición en el campo en la que jugaba cada una de las niñas.

Por otro lado, se incluyeron 25 niñas que no realizaban ningún tipo de actividad física fuera del horario escolar (2 sesiones de educación física a la semana de 50 minutos).

Tabla 3.3. Distribución de la muestra estudio 2.

EDAD	FÚTBOLISTAS	SEDENTARIAS
Tanner \leq II	10	10
Tanner \geq III	30	15

3.4.1.3. Participantes estudio 3

La muestra final del estudio longitudinal estaba compuesta por 82 niños de 10 a 12 años con un Tanner ≤ 3 . Los niños que practicaban fútbol tenían un número de horas de entrenamiento a la semana similar y el campo de fútbol en el que llevaban a cabo su actividad deportiva tenía una edad similar al de resto de campos del estudio. Todos los participantes fueron medidos al inicio del estudio, a los 12 meses del estudio y, finalmente, a los 24 meses.

A lo largo del tiempo se fueron perdiendo sujetos, ya que muchos de ellos dejaron la práctica deportiva o se trasladaron a otras ciudades.

Finalmente, los grupos se dividieron en función de si practicaban fútbol sobre césped artificial, tierra o si no realizaban ningún tipo de actividad física fuera del horario escolar (Tabla 3.4).

Tabla 3.4. Distribución de la muestra estudio 3.

Grupo 1: tierra	Grupo 2: césped artificial	Grupo 3: sedentarios	TOTAL
14	54	15	82

3.4.2. Comité de ética

El estudio se llevó a cabo siguiendo las Normas Deontológicas reconocidas por la Declaración de Helsinki de 1975 (revisada en la 52ª Asamblea General en Edimburgo, Escocia, Octubre 2000), las Normas de Buena Práctica Clínica y cumpliendo la legislación y la normativa legal española que regula la investigación clínica en humanos (Real Decreto 223/2004 sobre regulación de ensayos clínicos). El proyecto fue aprobado por el Comité de Ética de Investigación Clínica de la Universidad de Castilla-La Mancha recibiendo el dictamen favorable de dicho Comité (CEIC 13/10).

3.4.3. Descripción de los test y pruebas del estudio

3.4.3.1. Valoración de la talla y masa corporal

La talla se midió en bipedestación con los talones, los glúteos, la espalda y la región occipital en contacto con el plano del tallímetro. Estas medidas se efec-

tuaron mediante un tallímetro Seca 711, así como la obtención de la masa corporal.

3.4.3.2. Valoración de la condición física

Para valorar la condición física se utilizó el test de Course Navette. Se trata de un test máximo y progresivo, a través del cual se mide la potencia aeróbica máxima e indirectamente el consumo máximo de oxígeno (VO_2 máx.), en mililitros por kilogramo por minuto. Para calcular el VO_2 máx. en jóvenes de ocho a dieciocho años se utiliza la fórmula de Leger, Mercier, Gadoury y Lambert (1988).

Cuanto mayor sea el valor, mayor capacidad tendrá ese organismo para producir energía mediante el metabolismo aeróbico, menos necesidad de recurrir al metabolismo anaeróbico láctico y mayor capacidad de eliminación de ácido láctico en caso de haber sido producido (Corral-Pernía & Catillo-Andrés, 2010).

Para la realización del test es preciso trazar unas líneas paralelas a una distancia de 20 metros. Los sujetos deben correr adaptando su ritmo al marcado por la grabación. Al iniciar la señal el individuo deberá correr hasta la línea contraria (20 metros), pisarla y esperar escuchar la segunda señal para volver a desplazarse (Figura 3.1).



Figura 3.1. Realización test Course Navette.

Se debe seguir el ritmo que marca el casete que progresivamente irá incrementando el ritmo de carrera (La frecuencia de aumento de la velocidad de carrera marcada por la grabación comienza en $8.5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ y se incrementa en $0.5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ cada minuto). El test finalizará en el momento que el individuo no pueda pisar la línea en el instante que lo marque el casete. A cada intervalo rítmico lo denominaremos periodo y tiene una duración de un minuto.

A la hora de realizar el test, los participantes deben de tener en cuenta que no podrán pisar la siguiente línea sin escuchar antes la señal del magnetófono, la cual se va incrementando a medida que los periodos aumentan. Por otro lado, deben pisar la línea de referencia de la distancia en cada uno de los trayectos.

3.4.3.3. Valoración de la composición corporal

La masa ósea, magra y grasa se determinará mediante DXA (Hologic QDR Serie W Descubrimiento, Visor Médico Software, APEX versión del software 3.1.2. Waltham, MA, EE.UU.) utilizado en estudios como Kemper et al. (2000); Seabra et al. (2012); Vicente-Rodríguez et al. (2003) y Vicente-Rodríguez et al. (2004).

Los sujetos se valorarán tumbados en posición supina y operando el escáner en la mayor resolución.

A partir del análisis regional y total del escáner completo del cuerpo se valorará: el área total (cm^2) y CMO (g). La DMO se calculará siguiendo la fórmula $\text{CMO} = \text{CMO} \cdot \text{área}^{-1}$. También se llevará a cabo un análisis adicional para estimar la masa ósea a nivel lumbar y de la parte superior del fémur izquierdo; presentando los valores de contenido y densidad mineral ósea del cuello femoral, el trocánter mayor, la zona intertrocanteriana y el triángulo de Ward como se describe en Vicente-Rodríguez et al. (2008).

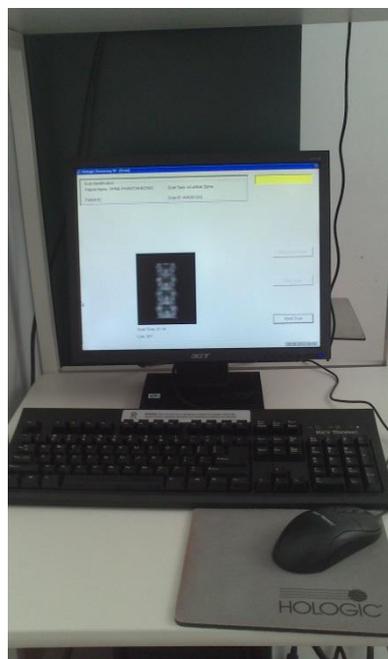


Figura 3.2. Calibración diaria DXA.



Figura 3.3. Fantoma de calibración.

El equipo DXA se calibrará utilizando un fantoma de espina lumbar y siguiendo las recomendaciones del fabricante (Hologic) (Figura 3.2 y 3.3). Se realizó una calibración diaria cada uno de los días de pruebas y una semanal, quedando todo ello registrado en la hoja de control de calibraciones, donde podemos ver todas las calibraciones realizadas y sus posibles incidencias que hayan surgido a lo largo de la toma de datos de la investigación.

Cadera derecha

Para la valoración de la cadera se tumbó al sujeto boca arriba con la cabeza en el extremo derecho de la mesa, se coloca un posicionador de cadera debajo de las piernas del sujeto y se alinea el centro del posicionador con la línea del paciente. A continuación se gira la pierna derecha 25° hacia dentro y se coloca el extremo medial del pie contra el posicionador. El pie debe de estar flexionado hacia dentro. Con velcro sujetamos los pies del sujeto con el fin de evitar que se muevan. Finalmente alineamos el fémur para que esté paralelo al borde de la mesa.

Se tomó como protocolo la evaluación de la cadera derecha de los niños, por lo que sólo fue explorada ésta en cada uno de ellos. Se trata de una prueba rápida en el que el periodo de exploración no superaba el minuto.

Cuerpo entero

Colocamos al sujeto recto sobre la mesa dentro de la línea que delimita el borde de la exploración (Figura 3.4). Los brazos se colocan a ambos lados del sujeto, con las palmas hacia abajo, separadas de los muslos y dentro de la línea que delimita el borde de la exploración. A continuación giramos las piernas del sujeto 25° hacia dentro, hasta que los dedos de los pies se toquen, posteriormente sujetamos con una cinta los pies del sujeto para que mantenga la posición y le pedimos que no se mueva durante el tiempo de la exploración (de 6 a 7 minutos dependiendo de la altura de los niños).



Figura 3.4. Exploración cuerpo entero.

3.4.3.4. Valoración del desarrollo puberal

El estado madurativo se determinó mediante autoevaluación por el método Tanner (Figura 3.5 y 3.6), utilizado en estudios que han mostrado una gran validez. Este test ha sido empleado en estudios como los de Farr, Chen, Lisse, Lohman & Going, (2010); Hind y Burrows, (2007); Karlsson, Nordqvist, Karlsson et al. (2008); Seabra et al. (2012), Vicente Rodríguez et al. (2003) y Zouch et al. (2008). En este test, son los propios niños/as los que se encargan de señalar cuál es su actual grado de desarrollo sexual a partir de unas representaciones que les muestran de forma gráfica los diversos grados de desarrollo de algunos de los caracteres sexuales primarios y secundarios a lo largo del crecimiento.

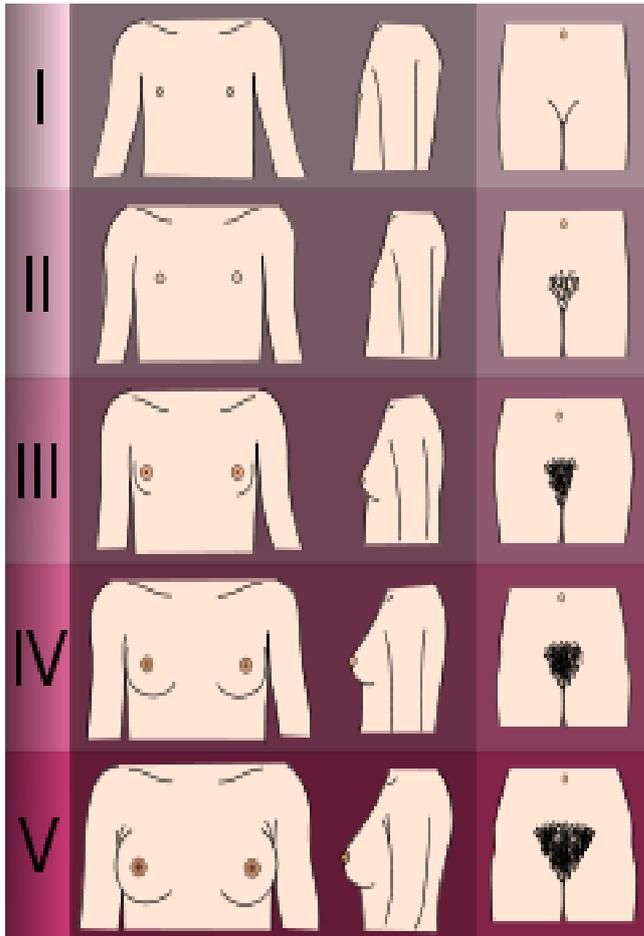


Figura 3.5. Estadios del Test Tanner en niñas.

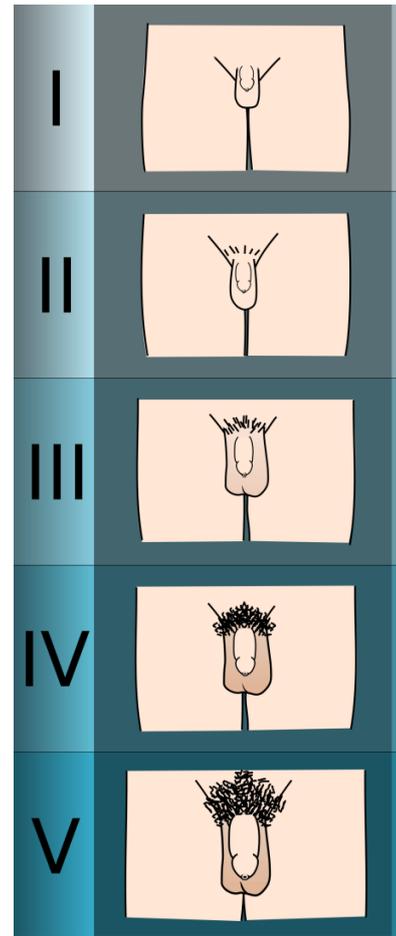


Figura 3.6. Estadios del Test Tanner en niños.

3.4.3.5. Evaluación de la función deportiva de los campos de fútbol. Interacción del jugador con el pavimento de césped artificial

Con el fin de valorar la calidad del pavimento en el que los niños desarrollan la práctica de fútbol se llevó a cabo una evaluación de la función deportiva. A través de esta hemos podido conocer las propiedades del pavimento, pudiendo estar relacionadas las mismas con el riesgo de lesiones.

Para el estudio se realizaron 3 pruebas reglamentarias que se llevaron a cabo "in situ" como se presenta en la norma UNE-EN 15330-1:2007, en el Manual de Métodos de Prueba para el césped artificial FIFA (2012), en la sección de pruebas de campo: la deformación vertical, absorción de impactos y energía de restitución. Cada prueba se realizó en cinco zonas diferentes del campo, así como diferentes ensayos en cada una de las mismas, según lo establecido en la normativa. Todo ello se registró en diversas hojas de toma de datos.

Deformación vertical

La deformación de un pavimento deportivo hace referencia a cuánto se deforma el pavimento como consecuencia de una acción deportiva como puede ser el apoyo de un jugador durante la carrera.

Representa la estabilidad de los atletas de deportes en la superficie, y en este sentido, es considerado por algunos autores como un indicador de la protección y la comodidad (Naunheim, Parrott & Standeven, 2004; Rosa, 2009).

El instrumento empleado para evaluar la deformación vertical del pavimento deportivo fue un equipo de ensayo conocido como Triple A (Atleta Artificial Avanzado)(Figura 3.7), siguiendo en este caso la Norma UNE-EN 14809:2006/AC, en la cual se recogen las especificaciones para la determinación de este ensayo.

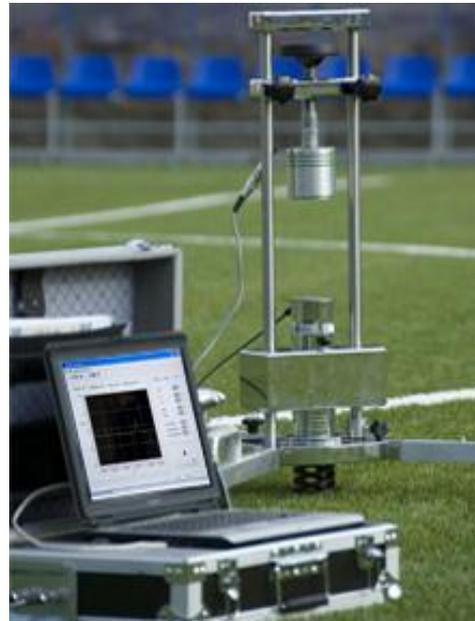


Figura 3.7. Atleta Artificial Avanzado.

Es un aparato compuesto por tres extremidades (una de ellas con una rueda) un martillo de compactación, un acelerómetro, más un software específico y caja de adquisición de datos (Data Acquisition Device Case).

Se colocan sensores de desplazamiento sobre el pie de la máquina con el fin de medir el desplazamiento del mismo debido a la fuerza aplicada por la masa al dejarla caer. El parámetro de deformación vertical estándar (StV) se considera como un indicador de protección y confort y se calcula de la siguiente manera:

$$\text{StV} = (1500/\text{Fmáx}) \text{Dmáx}$$

Donde Fmáx es el valor del pico de fuerza en Newton y Dmáx es la deformación máxima registrada por los sensores de desplazamiento.

Absorción de impactos

Según Rosa et al. (2007, 2008), la absorción de impactos es la capacidad de un material, sistema o mecanismo dado, de disminuir el efecto de las fuerzas de impacto por medio de la absorción y de la disipación de energía. El instrumento empleado para su evaluación es el triple A. La falta de absorción de impactos sobre un terreno de juego podría causar daño en cartílagos, dolor de espalda y diversas lesiones en general en acciones típicas del deportista como correr o saltar.

Al andar, el talón es la parte del pie que primero entra en contacto con el suelo (conocido como golpe de talón) y las fuerzas de

impacto resultantes inician una onda transitoria de impacto que posteriormente viaja a través del sistema músculo-esquelético hasta la cabeza (Figura 3.8). El exceso o defecto de la magnitud de estas ondas de impac-

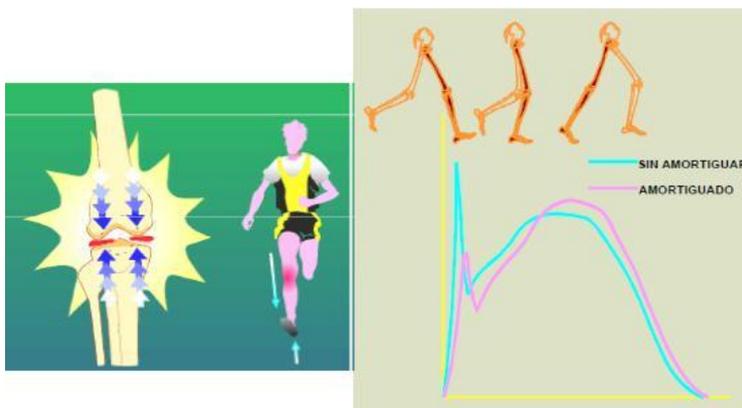


Figura 3.8. Influencia de la superficie sobre las fuerzas de impacto generadas durante la carrera (Rosa, 2009).

to puede tener un efecto muy adverso. Las elevadas fuerzas de impacto pueden provocar una lesión en el jugador, mientras que, unas fuerzas de impacto muy bajas pueden disminuir la densidad mineral del hueso y llevar a una pérdida de estímulos del crecimiento óseo (Burillo et al., 2010).

Energía de restitución

La energía de restitución o energía devuelta por el pavimento puede afectar al rendimiento de los jugadores, ya que un retorno muy bajo implica que el jugador necesite hacer un esfuerzo mayor para la realización de los movimientos, (Burillo et al., 2010).

El instrumento empleado para evaluar la energía de restitución, al igual que en la deformación vertical y la absorción de impactos, es el Triple A.

3.4.4. Definición de las variables

Siguiendo a Salkind (1999), una variable independiente representa los tratamientos o condiciones que el investigador controla para probar sus efectos sobre algún resultado. La variable independiente cambia libremente o por efecto del investigador sin ser influida por la variable dependiente. Por el contrario, la variable dependiente varía en función de los cambios de la variable independiente (Thomas & Nelson, 2007).

Variable independiente

En el caso del estudio 1 y 3 encontramos una sola variable independiente (grupo), dividido a su vez en tierra, césped artificial y sedentarios.

En el estudio 2, encontramos cómo la variable independiente es el grupo al que pertenecen cada una de las participantes (grupo prepuberal y grupo peripuberal).

Variable dependiente

Para Thomas y Nelson (2007), la variable dependiente es el efecto de la variable independiente. Una variable dependiente es la que refleja los resultados de un estudio de investigación (Salkind, 1999).

Las variables dependientes que forman parte de este estudio las podemos dividir en tres grandes bloques que a su vez se subdividen (Tabla 3.5).

Tabla 3.5. Variables dependientes del estudio.

CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS
Índice de Masa Corporal (IMC)
Masa corporal (Kg)
Talla (cm)
COMPOSICIÓN CORPORAL
% Grasa
Masa Grasa Total (MGT)
Masa Grasa Tronco (MGTr)
Masa Muscular Total (MMT)
Masa Muscular Piernas (MMP)

MASA ÓSEA

Brazo izquierdo (DMO y CMO)
Brazo Derecho (DMO y CMO)
Media Brazos (DMO y CMO)
Costillas Izquierdas (DMO y CMO)
Costillas Derechas (DMO y CMO)
Media Costilla (DMO y CMO)
T Spina (DMO y CMO)
L Spina (DMO y CMO)
Pelvis (DMO y CMO)
Pierna izquierda (DMO y CMO)
Pierna Derecha (DMO y CMO)
Media Piernas (DMO y CMO)
Cabeza (DMO y CMO)
Cabeza Fémur (DMO y CMO)
Trocánter (DMO y CMO)
Zona intertrocantérea (DMO y CMO)
Triángulo de Ward's (DMO y CMO)

SUPERFICIES

Deformación vertical (mm)
Absorción de impactos (%)
Energía de restitución (%)

3.4.5. Análisis estadístico

Para la realización del análisis estadística se utilizó el paquete SPSS (SPSS v 19.0. Inc., Chicago, IL, EE.UU.) Se supuso diferencias significativas cuando $P < 0.05$.

Las pruebas realizadas fueron:

Estudio 1. Todos los datos se presentan como valores medios y la desviación estándar a menos que se indique lo contrario. Se establecieron diferencias entre grupos mediante ANOVA. A continuación, con el fin de evaluar las diferencias en la masa ósea y masa magra se realizó un análisis de covarianza (ANCOVA), utilizando como covariable la masa corporal. También se realizaron cálculos de Eta (η^2) para las comparaciones mediante ANCOVA, permitiéndonos conocer una buena estimación del tamaño del efecto. Los valores de $\eta^2 \leq 0.01$ corresponden al menor tamaño de efecto, los de $\eta^2 \leq 0.01$ corresponden al tamaño del efecto medio y finalmente los de $\eta^2 \geq 0.14$ corresponden a la alta magnitud del efecto.

Además, se aplicaron correlaciones bivariadas y análisis de regresión lineal múltiple para identificar la relación entre la condición física, la masa magra, y las variables de la masa ósea.

Estudio 2. Al igual que en el estudio 1, todos los datos se presentan como valores medios y la desviación estándar a menos que se indique lo contrario. Las diferencias entre los grupos (futbolistas prepúberes vs control prepúberes y futbolistas peripúberes vs control de peripúberes) se evaluaron mediante análisis de varianza (ANOVA). Para evaluar las diferencias en la masa magra y el hueso se realizó un análisis de covarianza (ANCOVA) aplicando el test de Bonferroni para el post-hoc. Se establecieron como covariables altura, masa corporal y la edad. La razón para usar estas covariables se basa en los estudios realizados por (Faulkner et al., 1996; Slemenda, Miller, Hui, Reister & Johnston, 1991), lo que demuestra que la altura y la masa corporal son factores influyentes en la masa muscular y la masa ósea del esqueleto del niño en crecimiento.

Estudio 3. Todos los datos se presentan como valores medios y la desviación estándar a menos que se indique lo contrario. Todas las variables incluidas en el presente estudio mostraron una distribución normal. Se utilizó el análisis de varianza para establecer las diferencias entre los grupos. Para determinar las diferencias en la masa ósea y masa grasa entre los grupos se realizó el análisis de covarianza (ANCOVA) utilizando el post-hoc de Bonferroni. Como covaria-

bles se utilizaron la edad, peso, altura, tanner y años de práctica de fútbol. Por último, se calculó el porcentaje de cambio en cada una de las variables para los diferentes grupos. El nivel de significación utilizado fue de $P < 0.05$.

C

APÍTULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DEL ESTUDIO 1

4.1.1. Resultados de edad, antropometría y consumo máximo de oxígeno

En la Tabla 4.1 se muestra la edad, antropometría y condición física de los participantes. Se puede apreciar cómo el grupo que desarrolla la práctica deportiva sobre tierra era más pesado que el grupo que practicaba sobre césped artificial. Por otro lado, el grupo de tierra muestra diferencias significativas en la Masa Grasa Total (MGT) y en la Masa Grasa del Tronco (MGTr) en comparación con los controles (todo para $P < 0.05$).

El grupo de césped artificial mostró 3.6% menos de Grasa Corporal (% GC), un 26% menos de grasa en el tronco y una masa magra de 9.4% más en las piernas en comparación con el grupo control (para $P < 0.05$).

Del mismo modo, el grupo de césped artificial obtuvo un 11.6% y 26.9% más de VO_2 máx. en comparación con el grupo de tierra y con los controles respectivamente (ambos $P < 0.05$, Tabla 4.1).

Tabla 4.1. Resultados edad, antropometría y consumo máximo de oxígeno (media \pm DE).

Índice de masa corporal (IMC); Masa grasa total (MGT); Masa Grasa Tronco (MGTr); Masa Muscular

VARIABLES	Tierra	Césped Artificial	Controles	N
Edad (años)	9.42 \pm 0.17	8.92 \pm 0.16	9.28 \pm 0.09	14-14-14
Masa Corporal (kg)	38.86* \pm 1.99	35.12 \pm 1.97	36.87 \pm 2.73	14-14-14
Talla (cm)	140.88 \pm 1.79	138.40 \pm 1.46	140.27 \pm 2.35	14-14-14
IMC (kg/m ²)	19.49 \pm 0.21	18.10 \pm 0.21	18.07 \pm 0.20	14-14-14
% GC	31.28 \pm 0.84	28.62# \pm 0.85	32.18 \pm 0.81	14-14-14
MGT(g)	11229.44† \pm 311.15	11165.95 \pm 314.40	12491.56 \pm 303.06	14-14-14
MGTr(g)	4712.45† \pm 174.23	3912.84# \pm 176.04	4927.53 \pm 169.69	14-14-14
MMT(g)	24017.40 \pm 585.14	23089 \pm 591.23	22780.91 \pm 569.91	14-14-14
MMP (g)	3837.88 \pm 83.40	3996.19# \pm 84.27	3650.52 \pm 81.23	14-14-14
VO_2 máx. (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	49.77† \pm 1.076	55.57*# \pm 1.087	43.79 \pm 1.048	14-14-14

Total (MMT); Masa Muscular Pernas (MMP). # Césped artificial vs. Controles* Tierra vs. Césped artificial
 † Tierra vs. Controles

4.1.2. Resultados composición corporal

La Tabla 4.2 muestra el peso corporal ajustado por CMO (g) y la DMO ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$) a partir de las exploraciones de cuerpo entero y cadera. No se encontraron diferencias entre el grupo de tierra y el grupo de césped artificial para ninguna de las variables relacionadas con el hueso.

En comparación con los controles, el grupo de tierra mostró mayor CMO en la pelvis, cabeza del fémur y zona intertrocanterea. También mostró una DMO significativamente mayor en la pelvis, cabeza del fémur, trocánter y zona intertrocanterea (todo para $P < 0.05$, Tabla 4.2).

El grupo de césped artificial en comparación con los controles presentó diferencias significativas en el CMO total, pelvis, media de las piernas, cabeza del fémur, trocánter y zona intertrocanterea, así como una DMO mayor en la pelvis, cabeza del fémur, trocánter y zona intertrocanterea (todo para $P < 0.05$, Tabla 4.2).

A la hora de comparar los grupos de niños que practicaban fútbol, independientemente de la superficie de juego, no se encontraron diferencias en el CMO y DMO en ambos grupos activos.

Los valores de η^2 van de medio a alto tamaño de efecto para todas las comparaciones y sobre más altos para todas las comparaciones que muestran diferencias significativas, lo que sugiere una significación biológica.

Tabla 4.2. Peso corporal ajustado (ANCOVA) por contenido minera óseo (CMO; g) y densidad (DMO; g·cm⁻²) para escáner de cuerpo entero y cadera.

	Tierra			Césped Artificial			Control			η^2 T vs. CON	η^2 CA vs. CON	ANCOVA Power
	media	ETM	95% IC	media	ETM	IC	media	ETM	IC			
CMO												
Media brazos	57.14	± 1.85	(52.76-61.90)	57.93	± 1.82	(52.6-61.4)	53.21	± 1.83	(47.4-56.2)	0.06	0.11	0.34
Pelvis	114.54†	± 4.33	(105.06-126.62)	122.72#	± 4.27	(108.9-130.9)	98.58	± 4.29	(87.8-109.6)	0.15	0.24	0.74
Media piernas	205.27	± 5.19	(189.92-222.43)	209.75#	± 5.11	(192.43-224.86)	187.42	± 5.14	(171.55-203.74)	0.08	0.11	0.4
Cabeza	323.42	± 10.13	(306.15-344.61)	311.83	± 9.99	(290.93-329.30)	305.28	± 10.04	(286.03-324.12)	0.07	0.03	0.25
Total	1110.14	± 23.14	(1047.95-1183.53)	1126.1#	± 22.81	(1053.15-1188.43)	1035.34	± 22.92	(962.95-1082.23)	0.08	0.1	0.4
Cabeza fémur	3.13†	± 0.16	(2.79-3.41)	3.17#	± 0.15	(2.86-3.48)	2.51	± 0.15	(2.24-2.86)	0.19	0.26	0.77
Trocánter	4.18	± 0.23	(3.70-4.77)	4.54#	± 0.23	(3.99-5.05)	3.57	± 0.23	(3.02-4.07)	0.09	0.2	0.65
Zona intertro-cantérea	14.62†	± 0.77	(13.37-16.67)	15.32#	± 0.76	(13.46-16.75)	10.98	± 0.76	(9.18-12.44)	0.32	0.43	0.97
Triángulo de Ward's	0.85	± 0.04	(0.79-0.99)	0.92	± 0.04	(0.81-1.01)	0.84	± 0.04	(0.73-0.93)	0.03	0.05	0.17
DMO												
Media brazos	0.539	± 0.01	(0.517-0.555)	0.538	± 0.01	(0.524-0.561)	0.52	± 0.01	(0.499-0.536)	0.06	0.12	0.38
Pelvis	0.826†	± 0.018	(0.790-0.857)	0.824#	± 0.017	(0.796-0.864)	0.756	± 0.018	(0.722-0.789)	0.2	0.27	0.871
Media piernas	0.859	± 0.015	(0.832-0.898)	0.868	± 0.015	(0.839-0.905)	0.828	± 0.015	(0.793-0.858)	0.08	0.12	0.45
Cabeza	1.436	± 0.04	(1.371-1.522)	1.404	± 0.039	(1.321-1.471)	1.380	± 0.039	(1.306-1.455)	0.05	0.05	0.19
Total	0.843	± 0.013	(0.820-0.873)	0.841	± 0.012	(0.815-0.868)	0.809	± 0.012	(0.782-0.834)	0.11	0.1	0.49
Cabeza fémur	0.743†	± 0.097	(0.678-0.792)	0.733#	± 0.078	(0.687-0.800)	0.595	± 0.061	(0.540-0.653)	0.3	0.31	0.96
Trocánter	0.766†	± 0.023	(0.718-0.814)	0.739#	± 0.023	(0.696-0.792)	0.628	± 0.023	(0.578-0.673)	0.35	0.29	0.98
Zona intertro-cantérea	0.892†	± 0.026	(0.850-0.955)	0.936#	± 0.025	(0.885-0.989)	0.767	± 0.025	(0.705-0.808)	0.32	0.52	1
Triángulo de Ward's	0.721	± 0.036	(0.663-0.814)	0.809	± 0.036	(0.722-0.873)	0.686	± 0.036	(0.607-0.737)	0.14	0.21	0.46

Césped artificial vs. Controles † Tierra vs. Controles T, grupo de tierra; CA, grupo césped artificial; CON, control

4.1.3. Relación del CMO y DMO con las características de los campos de fútbol

Los datos de la caracterización de los campos de fútbol se muestran en la Tabla 4.3. El análisis de regresión múltiple mostró que la deformación vertical y energía de restitución fueron las variables con el mayor valor predictivo para el CMO total e incrementos de DMO, explicando 12% y 19% en el grupo de césped artificial, mientras que los valores correspondientes fueron de 7% y 2% en el grupo de tierra. Entre todas las variables de la masa ósea y densidad, el CMO de la zona intertrocanterea y cabeza del fémur fueron las que mostraron una correlación más alta con la deformación vertical ($r = 0.69$ a 0.70 , para $P < 0.05$) para el grupo de tierra. En el grupo de césped artificial se observó como la DMO del trocánter es la variable que presenta una mayor correlación con la absorción de impactos y la deformación vertical ($r = 0.60$ hasta 0.64 , $P < 0.05$) (Tabla 4.4).

Tabla 4.3. Resultados de los campos de fútbol.

	Deformación vertical (mm)	Absorción de impactos (%)	Energía de restitución (%)
Campos de tierra			
Campo 1	0.2	21.9	71.6
Campo 2	0.2	20.3	72.3
Media	0.2	21.1	71.95
Campos de césped artificial			
Campo 1	5.5	61	37.7
Campo 2	5.9	61.2	36.8
Campo 3	7.3	70.3	42.7
Media	6.2	64.2	39.1

Tabla 4.4. Matriz de correlación entre la deformación vertical, absorción de impactos y energía de restitución para BMC y BMD en suelo duro / blando.

	Deformación vertical	Absorción de impactos	Energía de restitución
CMO			
T Spina	0.16/-0.15	-0.24/-0.17	0.24/-0.19
L Spina	-0.06/0.39	0.16/0.36	-0.16/0.34
Pelvis	0.02/0.11	0.06/0.08	-0.06/0.04
Media piernas	0.14/-0.18	0.13/-0.21	-0.23/-0.23
Total	0.01/-0.13	0.08/-0.17	-0.08/-0.19
Cabeza femoral	0.69*/0.37	0.47*/0.39	-0.47*/0.40
Trocánter	0.01/0.10	0.28/0.09	-0.28/0.08
Zona intertrocantérea	0.70*/-0.35	0.37/-0.38	-0.37/-0.40
Triángulo de Ward's	0.39/0.52*	0.36/ 0.55*	-0.36/0.58*
DMO			
T Spina	0.09/0.27	-0.12/0.24	0.12/0.22
L Spina	-0.06/0.16	-0.32/0.12	0.32/0.08
Pelvis	0.15/ -0.30	-0.03/-0.34	0.03/-0.37
Media piernas	-0.03/-0.52*	-0.01/-0.55*	-0.57*/-0.57*
Total	-0.06/-0.20	0.08/0.39	-0.08/-0.27
Cabeza femoral	0.49*/0.54*	0.24/0.56*	-0.24/0.57*
Trocánter	0.38/0.64*	0.06/0.60*	-0.06/0.57*
Zona intertrocantérea	0.37/0.29	0.08/0.28	-0.08/0.26
Triángulo de Ward's	0.51*/0.40	0.36/ 0.45	-0.39/0.49*

4.1.4. Discusión

El principal hallazgo de este estudio muestra cómo la práctica de fútbol en edades prepúberes produce una acumulación de masa ósea mayor con independencia de la superficie sobre la que se juegue (césped artificial o tierra). Además, también se encontró una mejor forma física y menor adiposidad en el grupo de césped artificial en comparación con el grupo de sedentarios.

La masa ósea y la superficie de juego

Es bien conocido los múltiples beneficios que derivan de la práctica deportiva y en concreto sobre la práctica de fútbol para la salud ósea (Alfredson, Nordstrom & Lorentzon, 1996; Duppe, Gardsell, Johnell & Ornstein, 1996). Numerosos estudios ponen de manifiesto cómo la práctica de fútbol en hombres y mujeres produce una mayor acumulación de masa ósea en todo el cuerpo, siendo más notables en la región de la cadera y la columna lumbar (Alfredson et al., 1996; Calbet et al., 2001).

Es importante señalar cómo el esqueleto humano prepuberal es bastante sensible a cargas mecánicas, lo que indica un efecto favorable de la práctica de este tipo de actividad a esta edad (Rizzoli & Bonjour, 1999). El área de la cabeza del fémur parece ser particularmente sensible a la tensión mecánica provocada por las acciones del fútbol, mostrando hasta un 7% más de DMO en la cabeza del fémur (Vicente-Rodríguez, 2006). Se ha demostrado cómo las acumulaciones de masa ósea se conservan después de un corto periodo de desentrenamiento (Fuchs & Snow, 2002) o a largo plazo (Bass et al., 1998). Es por ello por lo que una mayor DMO femoral en edades prepúberes podría traducirse en la reducción del riesgo de fracturas óseas más tarde en la vida adulta.

Estudios anteriores de carácter transversales demostraron que los jugadores de fútbol recreacionales que comenzaron la práctica de fútbol durante sus años prepúberes tienen entre 13 y 24% más de CMO en diferentes regiones frente a aquellos que no han realizado práctica deportiva (Calbet et al., 2001). Nuestro estudio muestra cómo el efecto que produce la práctica de fútbol ya es detectable en niños prepuberales, lo cual es consistente con los resultados actuales (Vicente-Rodríguez et al., 2004). En este sentido, es importante señalar cómo otras modalidades deportivas, como la gimnasia artística, han demostrado propiedades osteogénicas en niñas antes de la pubertad (Lehtonen-Veromaa et al., 2000) y periodo peripuberal y puberal en niños (Lima, De Falco, Baima, Carazzato &

Pereira, 2001). Sin embargo, una diferencia importante entre estos estudios y el nuestro es la cantidad de ejercicio que los niños experimentan. Los futbolistas de nuestro estudio obtuvieron efectos osteogénicos asociados con bajas cargas de entrenamiento (3-4 horas por semana), mientras que en el caso de gimnastas estos efectos se obtienen con cargas de entrenamiento mayores siendo de 2-3 horas diarias de entrenamiento. Esto implica que se puede lograr un efecto osteogénico prepuberal significativo, lo que se ha llamado "ventana de oportunidad para la respuesta ósea en la pubertad temprana" de MacKelvie et al. 2002, con diferentes ejercicios de corta intensidad que se podrían realizar en programas escolares.

Los niños que participan en la mayoría de los estudios que demuestran efectos osteogénicos en los huesos prepúberes practicaban fútbol en terrenos duros (Vicente-Rodríguez et al., 2004; Vicente-Rodríguez et al., 2004; Vicente-Rodríguez et al., 2003), que pueden implicar fuerzas de reacción del suelo superiores a las presentes en suelos blandos. Sin embargo, no existen estudios que muestren si el efecto osteogénico del fútbol en el esqueleto que se encuentra en crecimiento sigue produciéndose a pesar de que se practique sobre superficies de juego diferente. Los resultados sugieren que el césped artificial y la tierra parece tener la misma respuesta osteogénica beneficiosa en futbolistas prepúberes, a pesar de demostrar la tierra niveles de retorno de energía más altos en comparación (72 vs 31% en el grupo de tierra y grupo de césped artificial, respectivamente), y menor absorción de choque (21 vs. 64%, respectivamente) y deformación vertical (0.2 frente a 6.2 mm). Por lo tanto, aunque las características físicas de los campos son diferentes, parece que finalmente se compensan y producen efectos beneficiosos similares en la adquisición de hueso en respuesta al estrés físico.

Es importante estudiar más a fondo las características que pueden presentar las diferentes superficies de juego con el fin de esclarecer si el césped artificial podría estar más relacionado con las acciones musculares mientras que la tierra puede estar más relacionada con la intensidad del impacto.

De acuerdo con estudios anteriores sobre el mismo deporte, los niños que no juegan al fútbol tienen una menor condición física y una mayor masa grasa, en comparación con los futbolistas (Vicente-Rodríguez et al., 2004). El fútbol es un deporte en el que una de las capacidades físicas más importantes es la capacidad aeróbica. Esto podría explicar por qué los niños que juegan al fútbol tienen un mayor VO_2 máx. En el presente estudio se encontró que los participantes

sedentarios tenían peor aptitud física (entre el 12-22% menor VO_2 máx.) Y mayor masa grasa (entre 0.9-3.6%) que los jugadores de fútbol.

Es importante tener en cuenta para futuros estudios que las características de la superficie de juego y el estado de conservación no sólo pueden influir en la composición corporal y el fitness. Se ha escrito cómo las características de absorción de impacto de una superficie artificial de 5 años se deterioran significativamente en comparación con una superficie recién implantada y cómo el coeficiente de fricción de deslizamiento se vio afectado por la humedad de la superficie. Las diferencias se han obtenido también entre las condiciones húmedas y secas para el coeficiente de fricción de deslizamiento, con húmedo en general es más bajo que en seco. Una alta energía de restitución hace que el jugador de fútbol necesite más esfuerzo para saltar o cambiar de dirección. Es por tanto un mayor gasto de energía y aumento de la fatiga (similar a si se llevaran a cabo las acciones en una playa de arena). A pesar de encontrar niveles similares de energía de restitución, éstos pueden tener un comportamiento diferente de la energía (Rutherford, 1999), ya que el retorno de energía es inversamente asociado con los efectos de amortiguación de los pavimentos deportivos.

Además, estudios anteriores (Farhat, Mata, Rosa, Fayos & Peirau, 2009) explican cómo los coeficientes de fricción entre el pavimento y las botas de fútbol son decisivos a la hora de tener posibilidad de lesiones en el deportista, ya que influyen tanto en la buena marcha de los gestos deportivos como en la optimización del rendimiento. Una tracción inadecuada puede hacer que el jugador pueda quedarse atascado en la hierba bruscamente durante un giro, aumentando así el riesgo de una lesión, especialmente los relacionados con los ligamentos de la rodilla. Nuestros campos de este ensayo, el cumplimiento de la norma EN 15330-1:2007, por lo tanto, en ninguno de los campos quedan valores por encima o por debajo de 50 Nm 25 Nm, lo que reduce el riesgo de lesiones y optimiza el rendimiento deportivo.

4.2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DEL ESTUDIO 2

4.2.1. Resultados edad y composición corporal

La Tabla 4.5 muestra los datos descriptivos de la composición corporal de los diferentes grupos que forman el estudio. En las niñas prepúberes, las futbolistas y los grupos controles fueron similares en edad y variables de composición corporal. Las futbolistas peripuberales eran mayores que su grupo control peripuberal, mostrando también una mayor masa magra en las piernas (MMP) (4.83 ± 0.16 kg vs 4.51 ± 0.01 kg, todos $P < 0.05$) que el grupo control. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en ninguna otra variable.

Tabla 4.5. Resultados descriptivos de los participantes (media \pm DE).

	Futbolistas prepúberes (n=10)	Controles prepúberes (n=10)	Futbolistas peripúberes (n=30)	Control peripúberes (n=15)
Tanner	I-II	I-II	III-IV	III-IV
Edad (año)	8.20 \pm 0.13	9.70 \pm 0.15	11.73 [#] \pm 0.11	10.93 \pm 0.18
IMC (kg/m ²)	16.76 \pm 0.72	17.52 \pm 0.73	18.28 \pm 0.58	17.79 \pm 0.75
Masa corporal(kg)	30.55 \pm 1.79	34.55 \pm 1.99	42.15 \pm 1.75	40.39 \pm 2.02
Talla (cm)	134.77 \pm 2.19	140.02 \pm 1.72	151.15 \pm 1.43	150.52 \pm 1.32
% GC	27.19 \pm 1.90	31.01 \pm 1.88	27.35 \pm 0.87	27.69 \pm 1.95
MGT (kg)	8.37 \pm 0.95	10.90 \pm 1.10	11.74 \pm 0.78	11.53 \pm 1.35
MGTTr(Kg)	3.14 \pm 0.41	4.41 \pm 0.58	4.49 \pm 0.37	4.46 \pm 0.67
MMT(Kg)	20.89 \pm 1.96	22.73 \pm 1.40	28.77 \pm 0.93	27.12 \pm 3.10
MMP (kg)	3.33 \pm 0.21	3.36 \pm 0.45	4.83 [#] \pm 0.16	4.51 \pm 0.14

Índice de masa corporal (IMC); Grasa corporal (%); Masa grasa total (MGT); Masa Grasa Tronco (MGTr); Masa Muscular Total (MMT); Masa Muscular Piernas (MMP).

*futbolistas prepúberes vs control prepúberes [#]futbolistas peripúberes vs controles peripúberes. $P < 0.05$.

4.2.2. Resultados CMO y DMO ajustados por talla, masa corporal y edad

En la Tabla 4.6 se muestran los valores correspondientes al CMO ajustados por altura, masa corporal y edad. Las futbolistas prepúberes mostraron mayores valores de CMO en el cuello femoral que sus homólogas sedentarias (para $P < 0.05$). Las niñas peripuberales que practicaban fútbol presentaron mayores valores de CMO en la pelvis, trocánter, triángulo de Ward's y cuerpo entero (todo para $P < 0.05$).

La DMO se muestra en la Tabla 4.7, mostrando los resultados ajustados por altura, masa corporal y edad. En ellas podemos apreciar cómo las niñas prepúbe-

res futbolistas presentan valores más altos en la DMO en el cabeza del fémur y en el trocánter, en comparación con el grupo de niñas control (para $p<0.05$). El grupo de niñas futbolistas peripúberes tuvieron valores más altos de DMO en todas las variables en comparación con el grupo control (todo para $p<0.05$), a excepción de la región del trocánter.

Tabla 4.6. Resultados contenido mineral óseo (CMO) ajustado por talla, masa corporal y edad (media \pm DE).

	CMO (g)							
	Futbolistas		Controles		Futbolistas		Control	
	prepúberes		prepúberes		peripúberes		peripúberes	
Cuerpo entero								
Cabeza	298.21	\pm 11.37	313.46	\pm 15.63	340.55	\pm 11.59	311.09	\pm 10.11
Pelvis	112.65	\pm 5.60	104.18	\pm 3.61	169.82 [#]	\pm 7.33	132.04	\pm 4.19
Media brazos	49.37	\pm 2.72	50.90	\pm 5.91	76.09	\pm 3.05	66.63	\pm 2.66
Media piernas	186.32	\pm 10.17	236.01	\pm 7.63	274.52	\pm 8.93	230.82	\pm 8.66
Total	1099.29	\pm 31.70	1009.19	\pm 34.59	1436.61 [#]	\pm 19.55	1237.29	\pm 30.09
Cadera								
Cabeza del fémur	2.78 [*]	\pm 0.15	2.57	\pm 0.12	3.51	\pm 0.09	2.85	\pm 0.33
Trocánter	4.80	\pm 0.24	3.92	\pm 0.16	6.74 [#]	\pm 0.29	4.45	\pm 0.19
Zona intertrocantérea	12.88	\pm 0.82	11.72	\pm 0.51	14.00	\pm 0.68	13.89	\pm 0.91
Triángulo de Ward's	0.99	\pm 0.02	0.81	\pm 0.03	0.91 [#]	\pm 0.02	0.73	\pm 0.02
Total	19.75	\pm 1.02	19.12	\pm 0.96	24.01	\pm 0.81	23.12	\pm 0.86

*futbolistas prepúberes vs controles prepúberes [#]futbolistas peripúberes vs control peripúberes. $p<0.05$.

Tabla 4.7. Resultados densidad mineral óseo (DMO) ajustado por talla, masa corporal y edad (media \pm DE).

	DMO ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$)			
	Futbolistas	Controles	Futbolistas	Control
	prepúberes	prepúberes	peripúberes	peripúberes
Cuerpo entero				
Cabeza	1.43 \pm 0.04	1.46 \pm 0.58	1.60 [#] \pm 0.39	1.41 \pm 0.02
Pelvis	0.78 \pm 0.02	0.81 \pm 0.01	0.97 [#] \pm 0.02	0.84 \pm 0.02
Media brazos	0.49 \pm 0.01	0.46 \pm 0.05	0.60 [#] \pm 0.01	0.55 \pm 0.10
Media piernas	0.78 \pm 0.02	0.75 \pm 0.08	0.97 [#] \pm 0.01	0.89 \pm 0.01
Total	0.82 \pm 0.02	0.79 \pm 0.02	0.93 [#] \pm 0.01	0.83 \pm 0.01
Cadera				
Cabeza del fémur	0.70* \pm 0.02	0.66 \pm 0.01	0.77 [#] \pm 0.14	0.63 \pm 0.49
Trocánter	0.68 \pm 0.01	0.68 \pm 0.01	0.73 \pm 0.01	0.73 \pm 0.04
Zona intertrocantérea	0.87* \pm 0.02	0.80 \pm 0.01	0.97 [#] \pm 0.01	0.81 \pm 0.03
Triángulo de Ward's	0.78 \pm 0.06	0.67 \pm 0.02	0.75 [#] \pm 0.02	0.65 \pm 0.03
Total	0.85 \pm 0.02	0.83 \pm 0.02	0.84 [#] \pm 0.02	0.73 \pm 0.02

*prepuberal footballers vs prepuberal control [#]peripuberal footballers vs peripuberal control. $p < 0.05$.

4.2.3. Discusión

El principal hallazgo de éste estudio muestra cómo las niñas peripúberes que practican fútbol con tan solo 2h/semana presentan niveles más altos de CMO y DMO en comparación con sus homólogas sedentarias. Estas ganancias pueden apreciarse ya desde edades peripúberes, aunque, si bien es cierto, son más visibles después de la etapa prepúber.

De acuerdo con los resultados obtenidos en nuestro estudio, la práctica de fútbol parece ser beneficiosa para la adquisición ósea en niñas durante la infancia y la adolescencia. El efecto osteogénico sugerido en nuestro estudio ha sido demostrado con otras modalidades deportivas como la gimnasia y balonmano (Vicente-Rodríguez et al., 2007; Vicente-Rodríguez et al., 2004); sin embargo, ningún estudio ha explorado los beneficios de la práctica de fútbol para los huesos en las niñas prepúberes y peripuberal que tienen mayor riesgo de padecer osteoporosis en edades adultas en comparación con los hombres.

Resultados similares se han encontrado en niños, mostrando un aumento en la masa ósea en edades prepúberes (Vicente-Rodríguez et al., 2003) y en adultos (Calbet et al., 2001) que practicaban fútbol. Los mismos autores demostraron también que la participación de fútbol produce un aumento en la acumulación mayor CMO y DMO acumulación durante el crecimiento (Vicente-Rodríguez et al., 2004).

Estos resultados pueden explicarse por el hecho de que este deporte implica acciones como sprints, cambios de dirección, paradas, saltos y patadas que ofrecen una tensión mecánica adicional sobre huesos de las extremidades inferiores debido a las fuerzas de reacción del suelo más altas durante estas acciones (Calbet et al., 2001; Freychat et al., 1996). De hecho, un volumen excesivo de ejercicio no parece ser un factor determinante en el desarrollo de los huesos, sólo tres horas de la práctica de fútbol a la semana, ofrece importantes efectos osteogénicos en las zonas clínicamente relevantes y sensibles a la aparición de la osteoporosis, tales como la cadera y sus diversas sub-regiones (Vicente-Rodríguez et al., 2004). En nuestro estudio hemos visto en el caso de las niñas con sólo dos horas de la práctica de fútbol a la semana proporciona efectos osteogénicos.

Los resultados de nuestro estudio sugieren un efecto osteogénico de la práctica del fútbol en las niñas prepúberes, se centró en el cuello femoral BMC y BMD y entre trocánter BMD, que son las zonas más sensibles a la tensión mecánica de las acciones de fútbol (Vicente-Rodríguez et al., 2003). Sin embargo, las cepas generadas por este deporte pueden causar una alta expansión hueso cortical (Kontulainen et al., 2001), el aumento de la DMO (Bradney et al., 1998), la fuerza del hueso haciendo que los huesos más resistente a las fracturas (Schoenau, 1998). Los estudios longitudinales revelan que la práctica del deporte durante el año prepúberes ayuda a acumular más mineral (MacKelvie et al., 2001; Vicente-Rodríguez et al., 2004) porque los huesos inmaduros son más sensibles a la tensión mecánica (Vicente-Rodríguez et al., 2003). Además, las mejoras huesos obtenidos durante la etapa de crecimiento se mantienen durante toda la vida (Modlesky & Lewis, 2002). Un creciente número de estudios en los diferentes deportes apoyan la hipótesis de que la mitad de las adaptaciones huesos observados en adultos que ya están presentes en etapas prepúberales (Calbet et al., 2001; Nickols-Richardson, Modlesky, O'Connor & Lewis, 2000). A nuestro entender, este es el primer estudio que reporta efecto beneficioso sobre la masa ósea en mujeres prepúberes futbolistas.

En el estadio peripuberal, las diferencias entre los jugadores y el grupo de control fueron más consistentes, especialmente en la DMO en donde casi todas las áreas evaluadas fueron significativamente mayores en los futbolistas (8-18%). La magnitud de las diferencias fue mayor que en los grupos prepúberes. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el tiempo de exposición a la carga asociada a la práctica de fútbol fue de 2.5 años en las niñas prepúberes y 4.3 años en los futbolistas peripuberales. Se observaron las mayores diferencias entre los grupos en la zona de la cadera, específicamente en el cuello femoral. Coincidió con los resultados de estudios similares que analizan la masa ósea en mujeres futbolistas adultos y jóvenes (Alfredson et al., 1996; Söderman, Bergström, Lorentzon & Alfredson, 2000). Trocánter BMC presentó el mayor porcentaje de variación (34%) entre los futbolistas y los controles activos no físicos. La razón principal de las mayores diferencias en BMC y BMD de la cadera podría ser la compresión, cizallamiento, y las fuerzas de flexión que actúan en esta área durante la participación de fútbol (Söderman et al., 2000).

Estudios tales como los llevada a cabo por Baxter-Jones et al. (2008) demostraron que la actividad física durante la infancia provoca un efecto positivo sobre la acumulación de la masa ósea, y que persiste en la edad adulta. En nuestro estudio, las diferencias ya estaban presentes en las niñas prepúberes, pero adquieren mayor magnitud durante la etapa peripuberal, de acuerdo con las conclusiones del estudio (Baxter-Jones et al., 2008) que indica que es relevante para empezar a practicar el fútbol a una edad temprana y para mantener la exposición a través de los años. Varios aspectos tales como la intensidad del ejercicio, duración y cargas parecen ser de gran importancia para mantener los beneficios producidos por la actividad física en la vida más tarde Modlesky y Lewis, (2000). En nuestra investigación, 2 sesiones semanales de una hora y un partido el fin de semana fue suficiente para mostrar los valores más altos de la masa ósea en prepúberes futbolistas que sugieren una tendencia a subir de nivel con el aumento en el desarrollo puberal. Por esta razón, estamos de acuerdo con la declaración hecha por Vicente-Rodríguez et al. (2004) que los niños analizados 12.5 años y 17.5 años para establecer que la actividad física por encima de 6 METs produce un aumento de la masa ósea. Este hecho puede ser de gran importancia para garantizar una salud ósea óptima a través de toda la vida y prevenir el riesgo de osteoporosis o fracturas por osteoporosis más adelante en la vida.

4.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DEL ESTUDIO 3

4.3.1. Resultados características físicas

Durante el período de estudio establecido (24 meses), participaron un total de ochenta y dos niños, cuyas características descriptivas se han resumido en la Tabla 4.8.

El grupo de tierra mostró 8.27 puntos de masa corporal y 3.61 puntos en la masa grasa total (MGT) más alta en comparación con el grupo de césped artificial en la primera evaluación (pre). El grupo control mostró valores más altos en las mismas variables y también en el porcentaje de masa grasa corporal (% GC) en comparación con el grupo de césped artificial. Se obtuvieron resultados similares en la segunda evaluación, donde los valores fueron significativamente mayores en grupo de tierra y los controles.

Al analizar los porcentajes de cambios obtenidos en los diferentes grupos se aprecia como sólo existen diferencias significativas en la masa muscular total (MMT). Si observamos los diferentes grupos los valores ponen de manifiesto como los porcentajes de cambio en el grupo de tierra fueron mayor en comparación con los otros dos grupos.

Tabla 4.8. Características descriptivas de las evaluación previa (pre) y posterior (post) de cada grupo.

Variables	PRE			POST			% de Cambio		
	Césped Artificial (n=54)	Tierra (n=13)	Control (n=15)	Césped Artificial (n=54)	Tierra (n=13)	Control (n=15)	Césped Artificial	Tierra	Control
Tanner	I-II	I-II	I-II	II-III	II-III	II-III			
Edad (años)	8.07 ± 0.82	9.62* ± 0.65	9.20# ± 0.77	10.07 ± 0.82	11.62* ± 0.65	11.13# ± 0.74	24.7	20.7	20.9
Masa Corporal (kg)	30.08 ± 5.95	38.35* ± 7.55	37.65# ± 11.21	37.06 ± 8.1	45.37* ± 8.75	45.85# ± 13.40	23.2	18.3	21.7
Talla (cm)	131.98 ± 6.27	141.72 ± 8.73	139.97 ± 8.63	141.79 ± 7.07	151.98 ± 11.35	148.79 ± 8.77	7.4	7.2	6.3
IMC (kg/m ²)	17.18 ± 2.33	18.96 ± 2.54	18.89 ± 4.30	18.33 ± 2.80	19.54 ± 2.80	20.46# ± 4.86	6.6	3.0	8.3
% GC	26.03 ± 5.70	29.43 ± 7.57	32.08# ± 6.48	23.32 ± 6.65	24.78 ± 7.48	29.15# ± 8.47	-10.4	-15.8	-9.1
MMT (kg)	20.51 ± 3.10	23.60 ± 7.45	23.33 ± 4.93	26.09 ± 3.90	31.75* ± 7.17	29.41 ± 5.53	27.2	34.5*†	26.0
MGT (kg)	7.78 ± 3.50	11.39* ± 4.27	12.40# ± 5.70	8.81 ± 4.43	11.00 ± 4.04	13.92# ± 7.91	13.2	-3.4	12.2

Índice de Masa Corporal (IMC), Masa Muscular Total (MMT), Masa Grasa Total (MGT).

Césped Artificial vs. Control

* Tierra vs. Césped Artificial

† Tierra vs. Control

4.3.2. Resultados de masa ósea

Las Tablas 4.9 y 4.10 muestran los valores ajustados de CMO (g) y la DMO ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$) de todas las variables analizadas en la exploración de cuerpo entero y cadera. Se aprecia una menor tendencia de CMO y DMO en el grupo de césped artificial, para todos los valores de cada una de las regiones analizadas en comparación con los otros grupos.

El grupo de césped artificial mostró un aumento significativo de CMO tanto, en la exploración de cuerpo entero como en la de cadera en las dos evaluaciones (todo para $P < 0.01$). El grupo de tierra y el control mostraron aumentos significativos en el CMO en la mayoría de las variables, excepto el cuello femoral en el grupo de tierra y el triángulo de Ward's en ambos grupos.

Todos los grupos mostraron diferencias significativas en todas las variables analizadas en la DMO, a excepción del grupo de tierra en diferentes regiones de la cadera (zona intertrocanterea, cuello femoral, trocánter y triángulo de Ward's) y el grupo control en el trocánter y triángulo de Ward's.

No se encontraron diferencias entre el grupo de tierra y los controles en el CMO y DMO a excepción del CMO de la pelvis en la segunda evaluación (post), donde sí existen diferencias significativas, mostrando los valores más altos el grupo de tierra. Sin embargo, existen diferencias significativas en muchas variables (media de las piernas de CMO y DMO, media de brazos en el CMO, BMC y BMD de la pelvis, CMO total, CMO y BMD del cuello femoral, BMC y BMD del trocánter y BMC de la zona intertrocanterea) al comparar el grupo de césped artificial con el de tierra.

La interacción del tiempo en todos los grupos muestra cómo existen diferencias significativas en la mayoría de las variables de BMC (todo para $P < 0.01$, excepto cuello femoral y el triángulo de Ward's). En las variables de DMO, sólo se aprecia interacción en los brazos, medias de piernas y brazos y la pelvis (todo para $P < 0.01$).

Finalmente, la Figura 4.1 muestra el porcentaje de variación del CMO y DMO en las evaluaciones previas y posteriores para todo el cuerpo y la cadera. En la exploración de cuerpo entero sólo se observaron diferencias significativas al comparar el grupo de césped artificial con el grupo de tierra en el CMO total, DMO de la pelvis y DMO de la media de las piernas. Los resultados de la cadera mostraron diferencias significativas en todas las variables, siendo significati-

vamente mayor los valores obtenidos por el grupo de césped artificial en comparación con los otros grupos.

Tabla 4.9. Evolución del contenido de mineral ósea de cuerpo y cadera. Análisis ajustado por edad, peso, altura, tanner y años jugando.

Variables	CMO (g)															Interacción de los grupos en el tiempo <i>P</i>	
	Césped Artificial					Tierra					Controles						
	PRE		POST	<i>P</i>		PRE		POST	<i>P</i>		PRE		POST	<i>P</i>			
Cuerpo entero																	
Media brazos	49.92	± 5.86	63.23	± 6.47	<0.001	59.65*	± 4.45	78.79*	± 5.52	<0.001	56.12	± 11.87	69.55	± 12.65	<0.001	<0.001	
Pelvis	106.64	± 19.91	123.95	± 18.59	<0.001	117.29	± 19.72	148.16*†	± 23.18	<0.001	103.34	± 19.56	117.33	± 18.78	0.005	<0.001	
Media piernas	168.05	± 19.43	202.05	± 29.92	<0.001	215.00*	± 21.86	266.25*	± 22.42	<0.001	195.64	± 29.06	236.93	± 26.98	<0.001	<0.001	
Total	681.36	± 79.44	1218.80	± 125.66	<0.001	816.39*	± 75.75	1390.64	± 91.17	<0.001	760.27	± 137.45	1252.82	± 355.64	<0.001	<0.001	
Cadera																	
Cuello femoral	1.65	± 1.49	2.89	± 0.90	<0.001	3.33*	± 0.63	3.49	± 0.67	0.391	2.71	± 0.45	2.96	± 0.54	0.048	0.500	
Trocanter	2.25	± 2.13	4.57	± 1.31	<0.001	4.82*	± 0.88	5.89*	± 0.50	0.006	3.91	± 0.99	4.79	± 0.95	0.006	0.004	
Zona intertrocantérea	8.03	± 7.30	15.87	± 5.10	<0.001	15.13*	± 2.50	20.30	± 4.42	0.012	11.74	± 2.82	14.46	± 4.66	0.049	0.003	
Triángulo de Ward's	0.53	± 0.48	0.84	± 0.27	<0.001	0.92	± 0.21	0.96	± 0.08	0.579	0.86	± 0.13	0.88	± 0.16	0.421	0.570	

Césped Artificial vs. Controles

* Tierra vs. Césped Artificial

† Tierra vs. Controles

Tabla 4.10. Evolución de la densidad mineral ósea de cuerpo y cadera. Análisis ajustado por edad, peso, altura, tanner y años jugando.

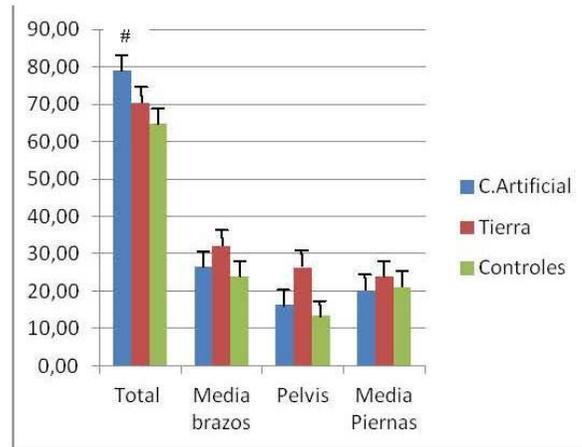
Variables	BMD (g·cm ⁻²)														Interacción de los grupos en el tiempo <i>P</i>
	Césped Artificial			Tierra			Controles			<i>P</i>		<i>P</i>			
	PRE	POST	<i>P</i>	PRE	POST	<i>P</i>	PRE	POST	<i>P</i>						
Cuerpo entero															
Media brazos	0.49 ± 0.03	0.56 ± 0.04	<0.001	0.53 ± 0.04	0.59 ± 0.05	<0.001	0.52 ± 0.31	0.59 ± 0.07	0.002	<0.001					
Pelvis	0.73 ± 0.06	0.82 ± 0.06	<0.001	0.82* ± 0.06	0.89 ± 0.06	<0.001	0.76 ± 0.09	0.82 ± 0.07	0.000	<0.001					
Media piernas	0.78 ± 0.05	0.88 ± 0.06	<0.001	0.86* ± 0.05	0.95 ± 0.05	<0.001	0.83 ± 0.09	0.88 ± 0.07	0.035	<0.001					
Total	0.99 ± 0.07	1.06 ± 0.10	<0.001	1.05 ± 0.05	1.08 ± 0.07	0.515	1.00 ± 0.08	1.04 ± 0.17	0.377	0.053					
Cadera															
Cuello femoral	0.40 ± 0.36	0.68 ± 0.21	<0.001	0.75* ± 0.09	0.79 ± 0.06	0.100	0.64# ± 0.12	0.70 ± 0.08	0.046	0.184					
Trocanter	0.43 ± 0.37	0.68 ± 0.22	<0.001	0.75* ± 0.08	0.73 ± 0.06	0.480	0.65# ± 0.09	0.65 ± 0.08	0.925	0.651					
Zona interto- cantérea	0.50 ± 0.45	0.84 ± 0.24	<0.001	0.92 ± 0.13	0.99 ± 0.08	0.064	0.80 ± 0.11	0.88 ± 0.10	0.023	0.133					
Triángulo de Ward's	0.45 ± 0.41	0.87 ± 1.10	0.007	0.77 ± 0.14	0.81 ± 0.05	0.295	0.70 ± 0.11	0.74 ± 0.12	0.079	0.698					

Césped Artificial vs. Controles

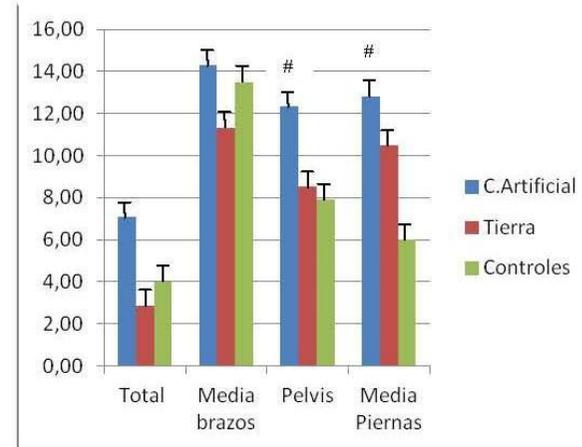
* Tierra vs. Césped Artificial

† Tierra vs. Controles

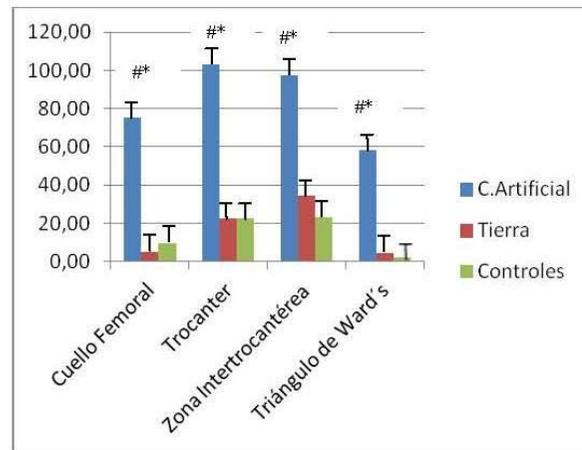
Cambios en el BMC de cuerpo entero (%).



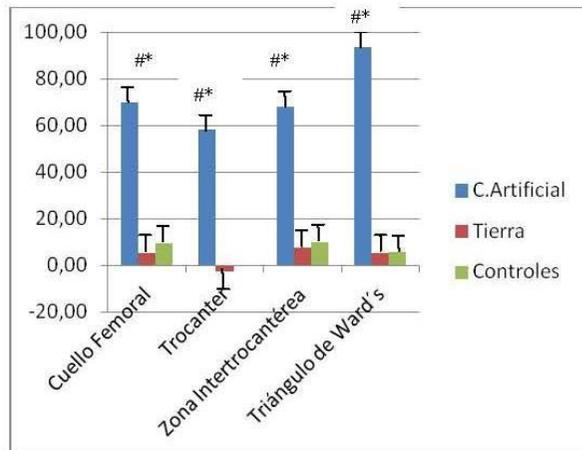
Cambios en el BMD de cuerpo entero (%).



Cambios en el BMC de Cadera.



Cambios en el BMD de cadera.



#Césped Artificial vs. Controles
 * Tierra vs. Césped Artificial
 † Tierra vs. Controles

Figura 4.1. Porcentaje de cambio de BMC y BMD de cuerpo entero y cadera.

4.3.3. Características de las superficies de los campos de fútbol

Los datos de las diferentes pruebas que se realizaron a los campos de fútbol se muestran en la Tabla 4.11. No se encontraron diferencias significativas en los terrenos entre la primera y segunda evaluación, mostrando valores muy similares en los distintos años.

Se encontraron diferencias significativas en las tres variables analizadas de las diferentes superficies deportivas. La media de los valores de los campos de césped artificial fueron significativamente mayor en la deformación vertical (césped artificial 5.60 ± 0.61 mm y tierra 0.20 ± 0.82 mm en la primera evaluación, todo para $P < 0.05$); césped artificial 4.75 ± 0.41 mm y 0.21 ± 0.80 mm en tierra en la segunda evaluación, todo para $P < 0.05$) y en la absorción de impactos (césped artificial $60.50 \pm 2.91\%$ y $21.90 \pm 1.61\%$ para tierra en la primera evaluación, para $P < 0.05$; césped artificial $60.28 \pm 2.04\%$ y en tierra $21.40 \pm 1.43\%$ en la segunda evaluación, todo para $P < 0.05$). Sin embargo, en la energía de restitución, los campos blandos (césped artificial) obtuvieron valores más bajos.

Tabla 4.11. Resultados de las superficies de los campos.

	PRE			POST		
	Deformación vertical mm	Absorción impactos %	Energía de restitución %	Deformación vertical mm	Absorción impactos %	Energía de restitución %
Tierra						
Campo 1	0.20	21.90	71.60*	0.21	21.40	71.24*
Soft Ground						
Campo 1	3.70	48.90	39.70	3.30	49.20	43.80
Campo 2	5.50	61.00	37.70	4.50	61.12	37.70
Campo 3	5.85	61.17	36.83	4.70	61.00	43.90
Campo 4	7.30	70.30	42.70	6.60	69.10	43.20
Campo 5	5.83	61.17	36.80	4.68	61.00	43.92
Media	5.60*	60.50*	38.74	4.75*	60.28*	42.50

* Tierra vs. Césped artificial

4.3.4. Discusión

Este es el primer estudio longitudinal que evalúa la práctica de fútbol en césped artificial en relación con la masa ósea. El objetivo de este estudio es evaluar el desarrollo de la masa mineral ósea en niños prepúberes que juegan al fútbol en superficies blandas y duras.

El principal hallazgo de nuestro estudio muestra cómo los niños que juegan al fútbol sobre terreno blando (césped artificial) desarrollan una mayor masa ósea en comparación con los niños que juegan sobre suelo duro. Por otra parte, los futbolistas prepúberes muestran menos masa grasa total y un mayor porcentaje de masa grasa en comparación con el grupo de sedentario.

Masa ósea y superficies de juego

Los beneficios derivados de la práctica de actividad física sobre la masa ósea (Kelley, Kelley & Kohrt, 2013), y más concretamente de la práctica de fútbol, están bien documentados, tanto en niños y adultos (Calbet et al., 2001; Kelley et al., 2013; Vicente-Rodríguez et al., 2006; Vicente-Rodríguez et al., 2009).

Se observó una clara correlación entre la actividad física y el aumento de la DMO en diferentes regiones del cuerpo que pueden ser influenciados por el tipo de actividad, las horas de práctica, campo, etc.

Estudios anteriores muestran cómo los jugadores de fútbol que comenzaron a practicar fútbol durante la etapa prepuberal tienen entre 13 y 24% más de DMO en diferentes regiones en comparación con aquellos que no practican ningún deporte (Calbet et al., 2001). En los niños, el 30% del pico de DMO se alcanza en los 3 años que rodean la pubertad, y la actividad regular durante estos años es esencial para el desarrollo. En la adolescencia, los chicos y chicas que son activos alcanzan de un 9% a un 17% más de DMO corporal total (Markou, Theodoropoulou, Tsekouras, Vagenakis & Georgopoulos, 2010). Esto es debido a que el hueso en crecimiento en los niños es más sensible a la tensión mecánica que se produce al realizar saltos o carreras y giros (Banfi, Lombardi, Colombini, Lippi & 2010) y ayuda a acumular más minerales (Vicente-Rodríguez et al., 2003; MacKelvie, McKay, Khan & Crocker, 2001). En este sentido, se puede ver en toda la exploración del cuerpo cómo el grupo de césped artificial obtuvo un aumento de la masa ósea después de veinticuatro meses de seguimiento de la práctica en comparación con el grupo control en las áreas de la DMO de la pelvis y la DMO de las media de las piernas.

En el fútbol, las extremidades inferiores son las más activas, pudiendo estar esto relacionado con una mayor ganancia de masa ósea en esta área. Los estudios longitudinales revelaron que la región de la cadera es la zona donde hay más beneficios a través de la actividad física. El área del fémur muestra una gran sensibilidad a la tensión mecánica causada por las acciones de fútbol, mostrando un aumento de hasta el 7% en la DMO de la cabeza femoral (Vicente-

te-Rodríguez, 2006). Gunter et al. (2008) desarrolló un programa de intervención mediante saltos durante siete meses, consiguiendo un incremento del 3.6 % en la DMO en el grupo de hip hop en comparación con otros grupos. Del mismo modo, nuestro estudio ha obtenido las mayores ganancias en la masa ósea en la región de la cadera después de veinticuatro meses de seguimiento. El grupo que juegan sobre césped artificial obtuvo un porcentaje de cambio significativamente mayor en todas las regiones analizadas de la cadera para CMO y DMO.

Mediante el análisis de la masa muscular y la masa grasa también se apreciaron diferencias entre los grupos de estudio. Los futbolistas prepúberes mostraron menos masa grasa total y menor porcentaje de masa grasa con respecto al grupo sedentario. Recientemente, se ha demostrado que la asociación entre masa grasa y hueso puede deberse a la mayor masa magra necesaria para apoyar la masa grasa (Gracia-Marco et al., 2011). Esto tal vez podría explicar los niveles más altos de masa ósea que muestra el grupo de tierra y el grupo control en la primera evaluación.

Los beneficios sobre la masa ósea obtenidos mediante el deporte están relacionados con el volumen de ejercicio. Sin embargo, hay deportes que presentando menos volumen de entrenamiento obtienen resultados similares. Este estudio muestra cómo los niños que juegan al fútbol en un terreno blando, con bajas cargas de entrenamiento, dos veces por semana durante 1 hora, aumentan la masa ósea, mientras que en otro estudio se encontró mejoras osteogénicas inferiores en gimnastas que entrenan 2-3 horas al día (Lehtonen-Veromaa et al., 2000). A nivel escolar existe un estudio que llevó a cabo un programa de intervención con una intensidad moderada a vigorosa durante al menos cinco años, obteniendo mejoras en la masa ósea tras este periodo (Detter, Rosengren, Dencker, Nilsson & Karlsson, 2013). En nuestro estudio a pesar de no hacer una intervención de intensidad moderada a vigorosa (solo realizaban la actividad física establecida por el currículo educativo, dos horas a la semana) se observaron mejoras significativas en la masa ósea durante el período de estudio).

El fútbol es un deporte en el que debido a sus características técnicas, el jugador es sometido a una fuerte interacción con la superficie. El tipo de superficie sobre la que se practica el deporte es un factor que puede influir en la masa ósea del deportista (Hinrichs, Chae, Lehmann, Allolio, Platen, 2010; Weidauer, Eilers, Binkley, Vukovich & Specker, 2012). Una alta energía de restitución hace que el

jugador de fútbol necesite más esfuerzo para saltar o cambiar de dirección. Es por tanto un mayor gasto de energía y aumento de la fatiga (Rutherford, 1999). Un estudio transversal ha demostrado cómo la práctica de fútbol puede proporcionar un efecto osteogénico en la acumulación de masa ósea en niños prepúberes, con independencia de la superficie sobre la que se practica (Plaza-Carmona et al., 2014). Sin embargo, los datos obtenidos en nuestro estudio revelan efectos osteogénicos diferentes en función de la superficie de juego en el que se practica. El grupo de césped artificial mostró mayores ganancias en la masa ósea en comparación con el grupo de tierra en futbolistas prepúberes, a pesar de que el grupo de tierra mostró niveles de energía de restitución más altos y menor deformación vertical que coincide con estudios similares (Plaza-Carmona et al., 2014).

Los presentes resultados sugieren que los niños que juegan al fútbol en terrenos blandos como es el césped artificial desarrollan un mayor aumento de masa ósea en comparación con los niños que juegan en el suelos más duros como es la tierra. Por lo tanto, la superficie de juego es una variable que puede influir en la adquisición de la masa ósea durante el crecimiento.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES

A continuación se enumeran las conclusiones extraídas de cada artículo así como cómo una general de los resultados de la Tesis Doctoral.

Artículo 1:

- La práctica de fútbol proporciona un mayor efecto osteogénico en la acumulación de masa ósea en niños prepúberes en comparación con niños que no realizan ningún tipo de ejercicio físico fuera del marco escolar, con independencia de la superficie sobre la que se practica.

Artículo 2:

- Las niñas prepúberes y peripúberes que practican fútbol muestran mayores valores de BMC y BMD en regiones esqueléticas de gran relevancia, siendo de mayor magnitud en las niñas peripúberes.
- La práctica de fútbol durante la infancia y la adolescencia puede facilitar la adquisición de un mayor CMO y DMO durante el crecimiento en las mujeres, proporcionándoles una mejor salud ósea que puede prevenirle ante la aparición de diferentes enfermedades.

Artículo 3:

- Los niños que juegan al fútbol en césped artificial han obtenido mayores ganancias en la masa ósea en comparación con los niños que juegan sobre tierra y sus homólogos inactivos después de veinticuatro meses de práctica en esta superficie.

Conclusión general:

- La práctica de fútbol durante la infancia colabora en la obtención de un incremento superior de la masa ósea, viéndose incrementada estas ganancias si la práctica deportiva se realiza sobre superficies blandas, como es el césped artificial.

CAPÍTULO 6

FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en esta investigación creemos viable de cara al futuro una serie de propuestas de investigación que se detallan a continuación:

1. Comparar si existen diferencias entre sexos en niños y niñas de la misma edad que juegan sobre el mismo tipo de superficie y una cantidad de horas similar.
2. Un estudio en el que se comparen diferentes superficies de césped artificial, con el fin de valorar cual de todas ellas es la que provoca un mayor efecto osteogénico.
3. Intentar analizar la incidencia de lesiones que tiene cada uno de los pavimentos y/o calzado deportivo sobre los que se juega al fútbol para que de esta manera se puedan incluir en las diversas normativas otra serie de parámetros encaminados a mejorar la calidad de los pavimentos de césped artificial, garantizando la seguridad del usuario.
4. Estudiar la influencia sobre la masa ósea que puede derivar de otras superficies deportivas sobre las que se practican deportes con alto contenido de impacto articular como es el voleibol o baloncesto y comparar las mejoras con las obtenidos en niños/as que practican futbol.

CAPÍTULO 7

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abián, J., Alegre, L. M., Lara, A., Rubio, J. A., Sordo, S., & Aguado, X. (2007). La importancia de amortiguar bien en las caídas. In P. Pérez & S. Llana (Eds.), *Biomecánica aplicada a la actividad física y al deporte* Valencia: Ayuntamiento de Valencia.
- Alcaide, F. (2009). *Fútbol. Fenómeno de fenómenos*. Madrid: LID.
- Alcántara, E. (2007). Aspectos biomecánicos de los pavimentos deportivos de hierba natural y artificial, *I Curso de Experto Universitario en Gestión de Césped Deportivo Natural y Artificial*, Las Rozas: UCLM y RFEF.
- Alcántara, E., Gámez, J., Rosa, D., & Sanchís, M. (2009). Analysis of the influence of rubber infill morphology on the mechanical performance of artificial turf surfaces for soccer. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology*, 223(1), 1-9.
- Alfredson, H., Nordstrom, P., & Lorentzon, R. (1996). Total and regional bone mass in female soccer players. *Calcified Tissue International* 59, 438-442.
- Allgeuer, T., Torres, E., Bensason, S., Chang, A., & Martin, J. (2008). Study of shockpads as energy absorption layer in artificial turf surfaces. *Sports Technology*, 1(1), 29-33.
- Alvero-Cruz, J. R., Cabañas-Armesilla, M. D., Herrero de Lucas, A., Martínez-Riaza, L., Moreno-Pascual, C., Porta-Manzañido, J., . . . Sirvent-Belando, J. E. (2010). Protocolo de valoración de la composición corporal para el reconocimiento médico-deportivo. Documento de consenso del grupo español de cineantropometría (GREC) de la Federación Española de Medicina del Deporte (FEMEDE). Versión 2010. *Archivos de Medicina del Deporte*, 27(139), 330-344.
- Ayuntamiento de Valencia. (2007). *Manual de mantenimiento de instalaciones deportivas*. Valencia: Fundación Deportiva Municipal.
- Aznar, S., & Webster, T. (2006). *Actividad Física y Salud en la Infancia y la Adolescencia. Guía para todas las personas que participan en su educación*: Ministerio de Sanidad y Consumo.
- Banfi, G., Lombardi, G., Colombini, A., & Lippi, G. (2010). Bone metabolism markers in sports medicine. *International Journal of Sports Medicine* 40(8), 697-714.
- Barreales, L. (2007). Consideraciones generales sobre la contratación administrativa de instalaciones de césped artificial, evolución de estas superficies y compromiso con el medio ambiente, *I Curso de Experto Universitario en Gestión del Césped Deportivo Natural y Artificial*, Las Rozas: UCLM y RFEF.

- Bass, S., Pearce, G., Bradney, M., Hendrich, E., Delmas, P. D., Harding, A., & Seeman, E. (1998). Exercise before puberty may confer residual benefits in bone density in adulthood: Studies in active prepubertal and retired female gymnasts. *Journal of Bone & Mineral Research*, 13(3), 500-507.
- Baxter-Jones, A. D. G., Kontulainen, S. A., Faulkner, R. A., & Bailey, D. A. (2008). A longitudinal study of the relationship of physical activity to bone mineral accrual from adolescence to young adulthood. *Bone*, 43(6), 1101-1107.
- Blair, S. N., & Morris, J. N. (2009). Healthy Hearts and the Universal Benefits of Being Physically Active: Physical Activity and Health. *Annals of epidemiology*, 19, 253-256.
- Bradney, M., Pearce, G., Naughton, G., Sullivan, C., Bass, S., Beck, T., . . . Seeman, E. (1998). Moderate Exercise During Growth in Prepubertal Boys: Changes in Bone Mass, Size, Volumetric Density, and Bone Strength: A Controlled Prospective Study. *Journal of Bone and Mineral Research*, 13(12), 1814-1821.
- Bravo, G., Gauthier, P., Roy, P. M., Payette, H., Gaulin, P., Harvey, M., . . . Dubois, M. F. (1996). Impact of a 12-month exercise program on the physical and psychological health of osteopenic women. *Journal of the American Geriatrics Society* 44(7), 756-762.
- Burillo, P. (2009). *Los campos de fútbol de césped artificial en Castilla-La Mancha. Hacia un modelo de seguridad, funcionalidad deportiva y satisfacción de los usuarios*. Departamento de didáctica de la expresión musical, plástica y corporal, Universidad de Castilla-La Mancha, Toledo.
- Burillo, P., Felipe, J. L., Gallardo, A., Gallardo, L., Sanchis, M., Pérez, V., . . . Rosa, D. (2010). *El césped artificial. La revolución del pavimento en el fútbol*: Instituto de Biomecánica de Valencia.
- Calbet, J. A. L., Dorado, C., Díaz-Herrera, P., & Rodríguez-Rodríguez, L. P. (2001). High femoral bone mineral content and density in male football (soccer) players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(10), 1682-1687.
- Camacho, P., & Kleerekoper, M. (2006). Biochemical markers of bone turnover. In M. J. Favus (Ed.), *primer on the metabolic bone diseases and disorders of mineral metabolism* (pp. 127-133). Washington: American Society for Bone and Mineral Research.
- Castelo-Branco, C. (2009). *Osteoporosis y Menopausia*. Madrid: Editorial Médica Panamericana, S.A.

- Cauley, J. A., Lui, L. Y., Ensrud, K. E., Zmuda, J. M., Stone, K. L., Hochberg, M. C., & Cummings, S. R. (2005). Bone mineral density and the risk of incident nonspinal fractures in black and white women. *The Journal of the American Medical Association*, 293(17), 2102-2108.
- Contreras, O. R., Gil Madrona, P., Cecchini, J. A., & García, L. M. (2007). Teoría de una educación física intercultural y realidad educativa en España. *Paradigma*, 28(2), 7-47.
- Cooper, C., Campion, G., & Melton, L. J. (1992). Hip fractures in the elderly: a world-wide projection. *Osteoporosis International*, 2, 285-289.
- Corral-Pernía, J. A., & Del Catillo-Andrés, Ó. (2010). La valoración del VO2 máx. y su relación con el riesgo cardiovascular como medio de enseñanza-aprendizaje. *Cuadernos de psicología del deporte*, 10(3), 25-30.
- Correal, J. (2008). *Situación actual y perspectivas del césped artificial como superficie deportiva* Paper presented at the II Curso de Experto Universitario en Gestión del Césped Deportivo Natural y Artificial, Las Rozas.
- CSD. (2005). *Manual del Agente censal. Censo 2005*. Madrid: Ministerio de Educación y Ciencia. Consejo Superior de Deportes.
- CSD. (2008). *Normas europeas en materia de deportes*. Madrid: Ministerio de Educación, Política Social y Deportes.
- CSD. (2012). *Seguridad y mantenimiento de los campos de fútbol de césped artificial*. Madrid: Ministerio de Educación y Ciencia. Consejo Superior de Deportes.
- Dalsky, G., Stocke, K., Ehsani, A., Slatopolsky, E., Lee, W., & Birge, S. J. (1988). Weight-bearing exercise training and lumbar bone mineral content in postmenopausal women. *Annals of Internal Medicine*, 108(6), 824-828.
- De Hoyo, M., & Sañudo, B. (2007). Composición Corporal y Actividad Física como parámetros de salud en niños de una población rural de Sevilla. *International Journal of Sport Science*, 3, 52-62.
- De la Higuera, M., Fernández-García, D., & Muñoz-Torres, M. (2004). Densitometría ósea: usos clínicos y evidencia científica. *Revista clínica española*, 204(9), 480-482.
- Delaney, J. (2009). *Guidance notes on the construction, maintenance and performance of artificial turf pitches*. Dublín: Football Association of Ireland.
- Detter, F. L., Rosengren, B., Dencker, M., Nilsson, J. Å., & Karlsson, M. (2013). A 5-Year Exercise Program in Pre- and Peripubertal Children Improves Bone Mass and Bone Size Without Affecting Fracture Risk. *Calcified Tissue International*, 92(4), 385-393.

- Díez, O., & Burillo, P. (2012). Influence of playing surface in performance of amateur football players: natural grass, artificial turf and dirt field. *AGON: International Journal of Sport Sciences*, 2(2), 106-114.
- Drake, R. L., Vogl, W., & Mitchell, A. W. M. (2007). *Gray. Anatomía para estudiantes*. Madrid: Elsevier España, S.A.
- Duppe, H., Gardsell, P., Johnell, O., & Ornstein, E. (1996). Bone mineral density in female junior, senior and former football players. *Osteoporosis International*, 6, 437-441.
- Ekstrand, J., & Nigg, B. M. (1989). Surface-related injuries in soccer. *Sports Medicine*, 8(1), 56-62.
- Ensrud, K. E., Cauley, J., Lipschutz, R., & Cummings, S. R. (1997). Weight change and fractures in older women. Study of Osteoporotic Fractures Research Group. *Archives of Internal Medicine*, 157(8), 857-863.
- ESTO. (2008). *Football Turf Today and Tomorrow. 1st European Synthetic Turf Organisation Conference*. Brussels.
- Farhat, N., Mata, V., Rosa, D., Fayos, J., & Peirau, X. (2009). [Musculo-skeletal model for knee joint forces estimation in sport activities].
- Farr, J. A., Chen, Z., Lisse, J. R., Lohman, T. G., & Going, S. B. (2010). Relationship of total body fat mass to weight-bearing bone volumetric density, geometry, and strength in young girl. *Bone*, 46, 977-984.
- Faulkner, R. A., Bailey, D. A., Drinkwater, D. T., McKay, H. A., Arnold, C., & Wilkinson, A. A. (1996). Bone densitometry in Canadian children 8–17 Years of Age *Calcified Tissue International*, 59(5), 344-351.
- Felipe, J. L. (2011). *Presente y futuro del césped artificial según deportistas, entrenadores, gestores y arquitectos. Una visión cualitativa*. Universidad de Castilla-La Mancha, Toledo.
- Ferrández, L., & Herrera, A. (2006). *Fracturas osteoporóticas*. Madrid: Medical & Marketing communications.
- FIFA. (2012). *FIFA Quality Concept for Football Turf. Handbook of Requirements*. Zurich: Fédération Internationale de Football Association.
- Freychat, P., Belli, A., Carret, J. P., & Lacour, J. R. (1996). Relationship between rearfoot and forefoot orientation and ground reaction forces during running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28, 225-232.
- Fuchs, R. K., & Snow, C. M. (2002). Gains in hip bone mass from high-impact training are maintained: A randomized controlled trial in children. *The Journal of pediatrics*, 141(3), 357-362.

- Gallardo, A., Felipe, J. L., Burillo, P., & Gallardo, L. (2009). ¿Césped natural o artificial? Respuestas al dilema. *Instalaciones Deportivas XXI*, 162, 50-52.
- García-Ferrando, M., & Llopis-Going, R. (2011). *Encuesta sobre los hábitos deportivos en España 2010*. Madrid: Consejo Superior de Deportes y Centro de Investigaciones Sociológicas.
- Genant, H. K., Grampp, S., Glüer, C. C., Faulkner, K. G., Jergas, M., Engelke, K., . . . Van Kuijk, C. (1994). Universal standardization for dual X-ray absorptiometry: Patient and phantom cross-calibration results. *Journal of Bone and Mineral Research*, 9(10), 1503-1514.
- Glastre, C., Braillon, P., David, L., Cochat, P., Meunier, P. J., & Delmas, P. D. (1990). Measurement of bone mineral content of the lumbar spine by dual energy X-ray absorptiometry in normal children: correlations with growth parameters. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 70(5), 1330-1333.
- Gómez-Alonso, C. (1996). Valores de la densidad mineral ósea (BMD) en columna lumbar y cadera de la población sana española. In M. Díaz-Curiel, A. Díez-Pérez & C. Gómez-Alonso (Eds.), *Nuevas Fronteras en el Estudio de la Densidad Ósea en la Población Española*. (pp. 73-94): Edimsa.
- Gómez-Alonso, C., & Bernardino, J. (2002). Métodos de determinación de la densidad mineral ósea. In M. Sosa (Ed.). Madrid: Sociedad Española de Medicina Interna.
- Gómez-Alonso, C., Rodríguez-García, M., & Cannata-Andía, J. B. (2009). Funciones del sistema óseo. Función de sostén y concepto de resitencia ósea. Hematopoyesis. Homeostasis mineral: calcio, fósforo, magnesio, PTH, vitamina D y calcitonina. In C. Castelo-Brasco (Ed.), *Osteoporosis y Menopausia* (2 ed.). Madrid: Editorial Médica Panamericana, S.A.
- Gordon, C. L., Halton, J. M., Atkinson, S. A., & Webber, C. E. (1991). The contributions of growth and puberty to peak bone mass. *Growth, development, and aging : GDA*, 55(4), 257-262.
- Gracia-Marco, L., Moreno, L. A., Ortega, F. B., León, F., Sioen, I., Kafatos, A., . . . Vicente-Rodríguez, G. (2011). Levels of Physical Activity That Predict Optimal Bone Mass in Adolescents: The HELENA Study. *American Journal of Preventive Medicine*, 40(6), 599-607.
- Gracia-Marco, L., Rey-López, J. P., Santaliestra-Pasías, A. M., Jiménez-Pavón, D., Díaz, L. E., Moreno, L. A., & Vicente-Rodríguez, G. (2012). Sedentary behaviours and its association with bone mass in adolescents: the HELENA cross-sectional study. *BMC Public Health* 971.

- Grove, K., & Londeree, B. (1992). Bone density in postmenopausal women: high impact vs low impact exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24(11), 1190-1194.
- Guañabens, N. (2010). Marcadores bioquímicos del remodelado óseo. In Sociedad Española de Reumatología (Ed.), *Manual de Enfermedades Óseas* (2 ed., pp. 71-76). Madrid: Editorial Médica Panamericana.
- Gullberg, B., Johnell, O., & Kanis, J. A. (1997). World-wide Projections for Hip Fracture. *Osteoporosis International*, 7(5), 407-413.
- Gunter, K., Baxter-Jones, A. D. G., Mirwald, R. L., Almstedt, H., Fuchs, R. K., Durski, S., & Snow, C. (2008). Impact Exercise Increases BMC During Growth: An 8-Year Longitudinal Study. *Journal of Bone and Mineral Research*, 23(7), 986-993.
- Gunter, K. B., Almstedt, H. C., & Janz, K. F. (2012). Physical Activity in Childhood May Be the Key to Optimizing Lifespan Skeletal Health. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 40(1), 13-21
- Hage, R., Courteix, D., Benhamou, C.-L., Jacob, C., & Jaffré, C. (2009). Relative importance of lean and fat mass on bone mineral density in a group of adolescent girls and boys. *European Journal of Applied Physiology*, 105(5), 759-764.
- Heaney, R. P. (2007). *Primer on the Metabolic Bone Diseases and Disorders of Mineral Metabolism* (7 ed.). Barcelona: Medical Trends, S.L.
- Hernández, M. I., Talesnik, E., García, C., & Reyes, M. L. (2003). Enfrentamiento clínico de la osteoporosis en el niño. *Revista Chilena Pediatría*, 74(6), 568-577.
- Hind, K., & Burrows, M. (2007). Weight-bearing exercise and bone mineral accrual in children and adolescents: A review of controlled trials. *Bone*, 40(1), 14-27.
- Hinrichs, T., Chae, E., Lehmann, R., Allolio, B., & Platen, P. (2010). Bone mineral density in athletes of different disciplines: a cross-sectional study. *The Open Sports Sciences Journal*, 3, 129 - 133.
- International Osteoporosis Foundation. (2008). <http://www.osteofound.org/>
- Ira-Fox, S. (2008). *Fisiología Humana* (10 ed.). Madrid: Mc Gran- Hill.
- Kanis, J., Burlet, N., Cooper, C., Delmas, P., Reginster, J. Y., Borgstrom, F., & Rizzoli, R. (2008). European guidance for the diagnosis and management of osteoporosis in postmenopausal women. *Osteoporosis International*, 19(4), 399-428.

- Kanis, J. A., Burlet, N., Cooper, C., Delmas, P. D., Reginster, J. Y., Borgstrom, F., & Rizzoli, R. (2008). European guidance for the diagnosis and management of osteoporosis in postmenopausal women. *Osteoporosis International*, 19(4), 399–428.
- Kanis, J. A., & Glüer, C. C. (2000). An Update on the Diagnosis and Assessment of Osteoporosis with Densitometry. *Osteoporosis International*, 11(3), 192-202.
- Kanis, J. A., Johnell, O., Oden, A., Johansson, H., De Laet, C., Eisman, J. A., . . . Tenenhouse, A. (2005). Smoking and fracture risk: a meta-analysis. *Osteoporosis International*, 16(2), 155-162.
- Karlsson, M. K., Nordqvist, A., & Karlsson, C. (2008). Physical activity increases bone mass during growth. *Food & Nutrition Research*.
- Kell, R. T., Bell, G., & Quinney, A. (2001). Musculoskeletal Fitness, Health Outcomes and Quality of Life. *Sports Medicine*, 31(12), 863-873.
- Kelley, G. A., Kelley, K. S., & Kohrt, W. M. (2013). Exercise and bone mineral density in men: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Bone*, 53(1), 103-111.
- Kelly, P. J., Eisman, J. A., & Sambrook, P. N. (1990). Interaction of genetic and environmental influences on peak bone density. *Osteoporosis International*, 1(1), 56-60.
- Kemper, H. C. G., Twisk, J. W. R., Mechelen, W. V., Post, G. B., Roos, J. C., & Lips, P. (2000). A fifteen-year longitudinal study in young adults on the relation of physical activity and fitness with the development of the bone mass: the Amsterdam Growth and Health Longitudinal Study. *Bone*, 27(6), 847-853.
- Kontulainen, S., Kannus, P., Haapasalo, H., Sievänen, H., Pasanen, M., Heinonen, A., . . . Vuori, I. (2001). Good maintenance of exercise-induced bone gain with decreased training of female tennis and squash players: A prospective 5-year follow-up study of young and old starters and controls. *Journal of Bone & Mineral Research*, 16(2), 195-201.
- Lachmann, E., & Whelan, M. (1936). The roentgen diagnosis of osteoporosis and its limitations. *Radiology*, 26, 165-177.
- Lees, A., & Nolan, L. (1998). The biomechanics of soccer: A review. *Journal of Sports Sciences*, 16, 211-234.
- Leger, L. A., Mercier, D., Gadoury, C., & Lambert, J. (1988). The multistage 20 m shuttle run test for aerobic fitness. *Journal of Sports Sciences*, 6(2), 93-101.

- Lehtonen-Veromaa, M., Möttönen, T., Svedström, E., Hakola, P., Heinonen, O. J., & Viikari, J. (2000). Physical activity and bone mineral acquisition in peripubertal girls. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 10(4), 236-243.
- Lima, F., De Falco, V., Baima, J., Carazzato, J. G., & Pereira, R. M. (2001). Effect of impact load and active load on bone metabolism and body composition of adolescent athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(8), 1318-1323.
- Ljunggren, Ö. (2006). *El hueso vivo*. Suecia: Sparre Lifespan.
- Lobstein, T., Baur, L., & Uauy, R. (2004). Obesity in children and young people: a crisis in public health. *Obesity Reviews*, 5, 4-85.
- MacKelvie, K. J., Khan, K. M., & McKay, H. A. (2002). Is there a critical period for bone response to weight-bearing exercise in children and adolescents? a systematic review. *British Journal of Sports Medicine*, 36(4), 250-257.
- MacKelvie, K. J., McKay, H. A., Khan, K. M., & Crocker, P. R. E. (2001). A school-based exercise intervention augments bone mineral accrual in early pubertal girls. *The Journal of Pediatrics*, 139(4), 501-508.
- Maïmoun, L., & Sultan, C. (2011). Effects of physical activity on bone remodeling. *Metabolism*, 60(3), 373-388.
- Mariñoso-Barba. (2010). Biopsia ósea. Histomorfoetría. In S. E. d. Reumatología (Ed.), *Manual de Enfermedades Óseas* (2 ed., pp. 121-126). Madrid: Editorial Médica Panamericana.
- Markou, K. B., Theodoropoulou, A., Tsekouras, A., Vagenakis, A. G., & Georgopoulos, N. A. (2010). Bone acquisition during adolescence in athletes. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1205(1), 12-16.
- Martyn-St James, M., & Carroll, S. (2008). A meta-analysis of impact exercise on postmenopausal bone loss: the case for mixed loading exercise programmes. *British Journal of Sports Medicine*, 43, 898-908.
- Matkovic, V., Fontana, D., Tomanic, C., Goel, P., & Chesnut, C. H. (1990). Factors which influence peak bone mass formation: A study of calcium balance and the inheritance of bone mass in adolescent females. *American Journal of Clinical Nutrition*, 52, 878-888.
- Mauck, K. F., & Clarke, B. L. (2006). Diagnosis, screening, prevention, and treatment of osteoporosis. *Mayo Clinic Proceedings*, 81(5), 662-672.
- Mendoza, R., Ságrera, M. R., & Batista, J. M. (1994). *Conductas de los escolares españoles relacionadas con la salud*. Madrid: C.S.I.C.

- Modlesky, C. M., & Lewis, R. D. (2002). Does exercise during growth have a long-term effect on bone health? *Exercise and Sports Sciences Reviews*, 30(4), 171-176.
- Monreal, J. A. (2007). *Protección fitosanitaria: Plagas, enfermedades y malas hierbas*, I Paper presented at the Curso de Experto Universitario en Gestión del Césped Deportivo Natural y Artificial, Las Rozas.
- Moreno, L. A., & Gracia-Marco, L. (2012). Prevención de la obesidad desde la actividad física: del discurso teórico a la práctica. *Anales de Pediatría*, 77(2), 136-136.
- Naunheim, R., Parrott, H., & Standeven, J. (2004). A Comparison of Artificial Turf. *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care*, 57(6), 1311-1314.
- Nickols-Richardson, S. M., Modlesky, C. M., O'Connor, P. J., & Lewis, D. L. (2000). Premenarcheal gymnasts possess higher bone mineral density than controls. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(1), 63-69.
- Nogués, X., Guerri, R., Solé, E., & Díez-Pérez, A. (2010). Impacto socioeconómico de la osteoporosis. *Revista de Osteoporosis y Metabolismo Mineral*, 2(3), 8-11.
- Nombedeu, A. (2004). *Terminología de fútbol y diccionarios: Elaboración de un diccionario de especialidad para el gran público*. Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona.
- Ortego, G. (2008). *Perspectivas del césped: Sistemas de césped y aspectos constructivos*. Paper presented at the II Curso de Experto Universitario en Gestión del Césped Deportivo Natural y Artificial, Las Rozas.
- Ortiz, L. (2009). *La importancia de la elección de la base elástica y el relleno de los campos de fútbol de césped artificial*. Paper presented at the III Curso de Experto Universitario en Gestión del Césped Deportivo Natural y Artificial, Las Rozas.
- Paredes, J. (2007). Historia del fútbol: evolución cultural. *Lecturas: Educación Física y Deportes*, 11.
- Pérez-Martín, A., Gómez-Pereda, R., Sabaté, J., Villavieja, L., Dierssen, T., Izquierdo, M., . . . Ovejero, V. J. (2008). Clasificación y correlación de la masa ósea según criterios de la OMS dependiendo del lugar de medición y de la edad. *Sociedad Española de Médicos Generales y de Familia*, 103, 21-32.

- Peris, P., Guañabens, N., Parés, A., Pons, F., Del Rio, L., Monegal, A., . . . Muñoz-Gómez, J. (1995). Vertebral fractures and osteopenia in chronic alcoholic patients. *Calcified Tissue International*, 57(2), 111-114.
- Plaza-Carmona, M., Vicente-Rodriguez, G., Martin-García, M., Burillo, P., Felipe, J. L., Mata, E., . . . Ara, I. (2014). Influence of hard vs. soft ground surfaces on bone accretion in prepubertal footballers. *International Journal of Sports Medicine*, 35(1), 55-61.
- Regidor, E., Gutiérrez-Fisac, J. L., & Alfaro, M. (2010). *Evolución de los indicadores del estado de salud en España y su magnitud en el contexto de la Unión Europea*. Madrid: Ministerio de Sanidad y Política Social.
- Rizzoli, R., Bianchi, M. L., Garabédian, M., McKay, H. A., & Moreno, L. A. (2010). Maximizing bone mineral mass gain during growth for the prevention of fractures in the adolescents and the elderly. *Bone*, 46(2), 294-305.
- Rizzoli, R., & Bonjour, J. P. (1999). Determinants of Peak Bone Mass and Mechanisms of Bone Loss. *Osteoporosis International*, 9(8), S17-S23.
- Roca, L. J., Caeiro, J. R., González-Rubio, Y., Calvo-Crespo, E., Gil, E., Mesa, M., . . . Fernández, A. (2010). *Guía de práctica osteoporosis*. Madrid: Multimédica Proyectos, S.L.
- Rocco, R. (2005). Calzado de fútbol y superficies de juego. In W. E. Garrett, D. T. Kirkendall & S. R. Contiguglia (Eds.), *Medicina del fútbol* (pp. 135-159). Badalona: Paidotribo.
- Rosa, D. (2009). Aspectos biomecánicos de los pavimentos deportivos. Hierba artificial, *III Curso de Experto Universitario en Gestión de Césped Deportivo Natural y Artificial*, Las Rozas: UCLM y RFEF.
- Rosa, D., Sanchis, M., Alcántara, E., & Zamora, T. (2008). Contribuciones de la Biomecánica al estudio de los terrenos de juego de hierba artificial. In M. Izquierdo (Ed.), *Biomecánica y Bases Neuromusculares de la Actividad Física y el Deporte* (pp. 469-488). Madrid: Editorial Médica Panamericana.
- Rosa, D., Sanchis, M., Alcántara, E., & Zamora, T. (2007). Avances en el estudio de campos de hierba artificial, aportaciones biomecánicas. In P. Pérez & S. Llana (Eds.), *Biomecánica aplicada a la actividad física y al deporte* (pp. 405-429). Valencia: Ayuntamiento de Valencia.
- Ross, M. H., & Pawlina, W. (2009). *Histología : texto y atlas color con biología celular y molecular* (5 ed.). Buenos Aires: Panamericana.
- Rutherford, O. M. (1999). Is there a role for exercise in the prevention of osteoporotic fractures? *British Journal of Sports Medicine*, 33, 378-386.

- Sabo, D., Blauch, S., Wenz, W., Hohmann, M., Loew, M., & Gerner, H. J. (2001). Osteoporosis in patients with paralysis after spinal cord injury. A cross sectional study in 46 male patients with dual-energy X-ray absorptiometry. *Archives of Orthopaedic y Trauma Surgery*, 121(1-2), 75-78.
- Salkind, N. J. (1999). *Métodos de Investigación*. México: Prentice Hall.
- Sanchis, M., Máñez, D., Magraner, L., San Jerónimo, S., & Matey, F. (2011). ECOTURF. Implementación de un sistema eco-eficiente de gestión y revalorización de los campos de fútbol de césped artificial. *Revista de Biomecánica*, 55, 19-21.
- Schoenau, E. (1998). Bone Mass Increase in Puberty: What Makes It Happen? *Hormone Research in Paediatrics*, 65, 2-10.
- Seabra, A., Marques, E., Brito, J., Krstrup, P., Abreu, S., Oliveira, J., . . . Rebelo, A. (2012). Muscle strength and soccer practice as major determinants of bone mineral density in adolescents. *Joint Bone Spine*, 79(4), 403-408.
- Seeman, E. (2008). Bone quality: the material and structural basis of bone strength. *Journal of Bone and Mineral Metabolism*, 26(1), 1-8.
- Shapiro, F. (2008). Bone development and its relation to fracture repair. the role of mesenchymal osteoblasts and surface osteoblasts. *European Cells and Materials*, 15, 53-76.
- Slemenda, C. W., Miller, J. Z., Hui, S. L., Reister, T. K., & Johnston, C. C. (1991). Role of physical activity in the development of skeletal mass in children. *Journal of Bone and Mineral Research*, 6(11), 1227-1233.
- Söderman, K., Bergström, E., Lorentzon, R., & Alfredson, H. (2000). Bone Mass and Muscle Strength in Young Female Soccer Players. *Calcified Tissue International*, 67(4), 297-303.
- Steiger, P., Cummings, S. R., Black, D. M., Spencer, N. E., & Genant, H. K. (1992). Age-related decrements in bone mineral density in women over 65. *Bone Mineral Reserch*, 7(6), 625-632.
- Thomas, J., & Nelson, J. (2007). *Métodos de investigación en actividad física*. Barcelona: Paidotribo.
- Vicente-Rodríguez, G. (2006). How does exercise affect bone development during growth? *Journal of Sports Medicine*, 36(7), 561-569.
- Vicente-Rodríguez, G., Ara, I., Dorado, C., Pérez, J., & Calbet, J. (2003). Actividad Física y masa ósea en niños y niñas prepúberes. *Archivos de Medicina del Deporte*, 20(93), 52-58.
- Vicente-Rodríguez, G., Ara, I., Pérez-Gómez, J., Serrano-Sánchez, J. A., Dorado, C., & Calbet, J. A. L. (2004). High femoral bone mineral density accretion

- in prepubertal soccer players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 1789-1795.
- Vicente-Rodríguez, G., Dorado, C., Ara, I., Pérez-Gómez, J., Olmedillas, H., Delgado-Guerra, S., & Calbet, J. A. L. (2007). Artistic Versus Rhythmic Gymnastics: Effects on Bone and Muscle Mass in Young Girls. *International Journal of Sports Medicine*, 28(5), 386-393.
- Vicente-Rodríguez, G., Dorado, C., Pérez-Gómez, J., González-Henriquez, J. J., & Calbet, J. A. L. (2004). Enhanced bone mass and physical fitness in young female handball players. *Bone*, 35, 1208-1215.
- Vicente-Rodríguez, G., Ezquerro, J., Mesana, M. I., Fernández-Alvira, J. M., Rey-López, J. P., & Casajus, J. A. (2008). Independent and combined effect of nutrition and exercise on bone mass development. *Journal of Bone and Mineral Metabolism*, 26, 416-424.
- Vicente-Rodríguez, G., Jimenez-Ramirez, J., Ara, I., Serrano-Sanchez, J. A., Dorado, C., & Calbet, J. A. L. (2003). Enhanced bone mass and physical fitness in prepubescent footballers. *Bone*, 33(5), 853-859.
- Vicente-Rodríguez, G., Ortega, F. B., Rey-López, J. P., España-Romero, V., Blay, V. A., Blay, G., . . . Moreno, L. A. (2009). Extracurricular physical activity participation modifies the association between high TV watching and low bone mass. *Bone*, 45, 925-930.
- Vicente-Rodríguez, G., Urzanqui, A., Mesana, M. I., Ortega, F. B., Ruiz, J. R., Ezquerro, J., . . . Moreno, L. A. (2008). Physical fitness effect on bone mass is mediated by the independent association between lean mass and bone mass through adolescence: a cross-sectional study. *Journal of Bone and Mineral Metabolism*, 26, 288-294.
- Viguet-Carrin, S., Garnero, P., & Delmas, P. D. (2006). The role of collagen in bone strength. *Osteoporosis International*, 17, 319-336.
- Vivanco-Muñoz, N., Reyes-Sánchez, M., Lazcano, E., Díaz, R., Antúnez, O., & Clark, P. (2012). Physical activity is a prognostic factor for bone mineral density in Mexican children. *Boletín médico del Hospital Infantil de México*, 69, 40-45.
- Wahl, A. (1998). *Historia del fútbol: del juego al deporte*. Barcelona: Ediciones B.
- Warming, L., Hassager, C., & Christiansen, C. (2002). Changes in bone mineral density with age in men and women: a longitudinal study. *Osteoporosis International*, 13(2), 105-112.

- Weidauer, L. A., Eilers, M. M., Binkley, T. L., Vukovich, M. D., & Specker, B. L. (2012). Effect of different collegiate sports on cortical bone in the tibia. *Journal of Musculoskeletal and Neuronal Interactions*, 12(2), 68-73.
- Williams, S., Hume, P. A., & Kara, S. (2011). A review of football injuries on third and fourth generation artificial turfs compared with natural turf. *Sports Medicine*, 41(11), 903-923.
- Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (2007). *Fisiología del Esfuerzo y del Deporte*. Badalona: Paidotribo.
- Young, B., & Heath, J. W. (2008). *Wheater's Histología funcional* (4 ed.). Barcelona: Elsevier España, S.L.
- Zouch, M., Jaffré, C., Thomas, T., Frère, D., Courteix, D., Vico, L., & Alexandre, C. (2008). Long-term soccer practice increases bone mineral content gain in prepubescent boys. *Joint Bone Spine*, 75(1), 41-49.

C

APÍTULO 8

ANEXOS

ANEXO 1. Aceptación Comité Ético

DOCUMENTO Nº 4

**INFORME DEL COMITÉ ÉTICO
DE INVESTIGACIÓN CLÍNICA**

El Comité Ético de Investigación Clínica de nuestra Área de Salud en su reunión de fecha 2 de diciembre de 2010, ha evaluado el proyecto titulado **“EFECTOS DE LA PRÁCTICA DEPORTIVA EN DIFERENTES CAMPOS DE CÉSPED ARTIFICIAL SOBRE LA SALUD ÓSEA Y EL DESARROLLO DEL ESQUELETO DE NIÑOS EN CRECIMIENTO”**. Investigador Principal: **LEONOR GALLARDO GUERRERO**, considerando que el mencionado proyecto se ajusta a las normas éticas esenciales utilizadas en este ámbito de lo cual queda constancia en el Acta nº 13/10 del CEIC.

Albacete, 2 de diciembre de 2010



Fdo. Pedro Abizanda Soler

Presidente del Comité Ético de Investigación Clínica.



Hnos. Falco, 37 · 02006 ALBACETE · Teléf. 967 597 10

HOSPITAL GENERAL DE ALBACETE		SESCAM S	
REGISTRO GENERAL			
15 DIC 2010			
ENTRADA Nº	SALIDA Nº		
	4520		



Albacete, 13 de diciembre de 2010

**FACULTAD CIENCIAS DEL DEPORTE
LEONOR GALLARDO GUERRERO
Avda Carlos III S/n
45071 TOLEDO**

Título del Estudio: EFECTOS DE LA PRÁCTICA DEPORTIVA EN DIFERENTES CAMPOS DE CÉSPED ARTIFICIAL SOBRE LA SALUD ÓSEA Y EL DESARROLLO DEL ESQUELETO DE NIÑOS EN CRECIMIENTO. **Investigador Principal:** LEONOR GALLARDO GUERRERO.

El C.E.I.C. del Complejo Hospitalario Universitario de Albacete, en su reunión del día 2 de diciembre de 2010 ha considerado que el mencionado proyecto se ajusta a las normas éticas esenciales utilizadas en este ámbito.

Fdo.: Consuelo Martínez
Unidad de Gestión de la Investigación



ANEXO 2. Hoja informativa y consentimiento informado.

HOJA DE INFORMACIÓN

Estimados padres:

Nos dirigimos a Uds. para presentarles el estudio *“Efectos de la práctica de fútbol sobre césped artificial en la masa ósea de niños y niñas en crecimiento”*. Se trata de un Proyecto de Investigación apoyado y financiado por la Junta de Castilla La Mancha (JCCM).

En el Estudio van a participar diversos centros deportivos de la comunidad autónoma de Castilla La Mancha y Madrid, en concreto, el centro donde su hijo/a práctica fútbol ha aceptado colaborar con nosotros. El estudio lo coordinan los **Grupos de Investigación IGOID y GENUD Toledo**, que poseen amplia experiencia en este ámbito.

El objetivo final de este proyecto es la mejora de la salud de nuestra población, por lo que respecta a las enfermedades asociadas con la mala alimentación y los estilos de vida desfavorables, como son la obesidad, la osteoporosis y las enfermedades cardiovasculares. Por todas estas razones, pedimos su colaboración y la de sus hijos.

El presente estudio consistirá en observar las diferencias que pueden existir entre niños/as que practican fútbol y los que no, en lo referente al desarrollo de su masa ósea y su condición física. Para la evaluación de la composición corporal se utilizará un densitómetro óseo (aparato parecido al de rayos X pero con una menor radiación, aproximadamente la misma que se recibe en un día de playa). El parámetros de condición física que se evaluarán será la resistencia mediante el Test de Course Navette.

La ventaja que presenta este estudio es que, si durante el mismo se encontrase alguna anomalía en la composición corporal de su hijo, es decir, anomalías en la masa grasa, en el componente muscular o en la mineralización del hueso que puedan afectar a su salud, actual o futura, nosotros de forma confidencial, se lo haríamos constar al instante, por lo que podría acudir a un especialista. Además, con este estudio se aportarán datos muy valiosos en el ámbito de la actividad física y la salud de la población infantil.

Para la participación en este estudio, el niño/a tendrá que acudir al **Laboratorio de Salud** en el Campus de la antigua Fabrica de Armas (el desplazamiento corresponde a los responsables del estudio siempre en coordinación con los responsables del Club/Centro). Durante las pruebas el niño puede estar acompañado por cualquier familiar que desee asistir a las mismas.

Si están conformes que su hijo participe en este estudio, por favor, rellene la autorización que adjuntamos y entrégela al entrenador/resposanble que le ha informado **antes del día en el que se realice el desplazamiento al Laboratorio.**

La información y datos recogidos en los diferentes cuestionarios realizados durante este estudio respetarán siempre lo establecido por la Ley Orgánica 15/1999 de Protección de Datos de Carácter Personal y, por tanto, cualquier información obtenida de este estudio que pueda ser relacionada con su hijo/a será confidencial y sólo será hecha pública con su consentimiento expreso. No obstante, los resultados de este estudio pueden ser publicados en foros científicos, utilizando únicamente los datos agrupados sin identificar a los sujetos.

Para cualquier aclaración que precisen estamos a su disposición en el **Laboratorio de Salud**. Telf. 925 268 800 (Ext 5544 -5537 preguntar por María Plaza Carmona).

Toledo a __de _____de _____

Aprovecho la ocasión para saludarles muy agradecidos.

Fdo. Dr. Leonor Gallardo y Dr. Ignacio Ara

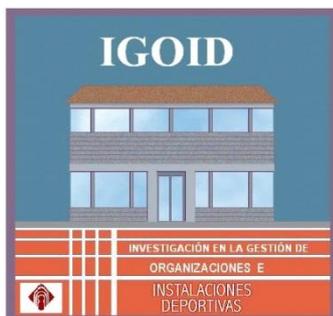
Profesores de la Facultad de Ciencias de Deporte

CONSENTIMIENTO INFORMADO

Yo, _____ como padre/madre o tutor/tutora D/Dña _____ con DNI nº _____ del niño/a _____ con fecha de nacimiento _____ y teléfono nº _____, doy mi consentimiento para que mi hijo participe en el estudio "*Efectos de la práctica de fútbol sobre césped artificial en la masa ósea de niños y niñas en crecimiento*". En dicho estudio se realizarán test de condición física y una prueba para la determinación de la grasa, músculo y el hueso que está basada en los rayos X.

Si su hijo/a toma alguna medicación de forma continuada (alergia, asma...) indíquenos desde cuando la toma, la frecuencia diaria, y el nombre del medicamento.

_____.



ANEXO 3.Cuestionario sobre actividad física y médica.

Localidad:

Nombre:

Teléfono

Código:

Edad:

Sexo:

¿Cuántos años llevas practicando fútbol?

¿Has padecido alguna lesión muscular u ósea?

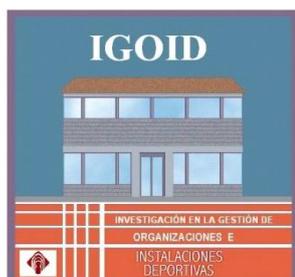
¿Has padecido o padeces alguna patología ósea?

¿Sobre qué superficies has jugado al fútbol? ¿Cuánto tiempo en cada una de ellas?

¿Cuantos días a la semana entrenas (incluido el partido de fin de semana)?

¿Cuántas horas semanales?

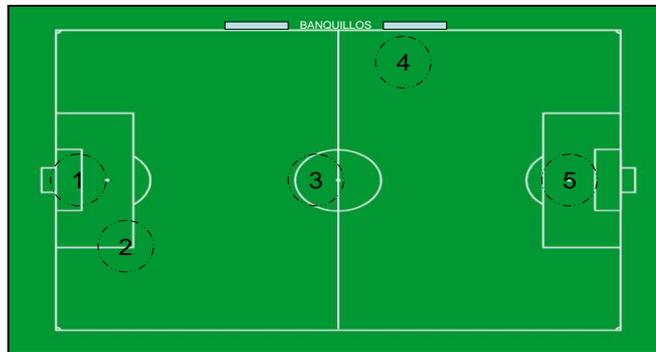
¿Practicas o has practicado otro deporte diferente al fútbol en los 5 últimos años? ¿Cuál? ¿Durante cuánto tiempo (años y días de entrenamiento)?



ANEXO 4. Hoja de toma de datos deformación vertical.

LOCALIDAD		
PROVINCIA		
NOMBRE INSTALACIÓN		
ORIENTACIÓN		
FECHA DE ENSAYO		
TEMPERATURA AMBIENTE	MÁXIMA	MÍNIMA
TEMPERATURA SUPERFICIE	MÁXIMA	MÍNIMA
CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS	VIENTO MÁXIMO	
HORA INICIO ENSAYOS		
HORA FINAL ENSAYOS	VIENTO MÍNIMO	
HUMEDAD RELATIVA ENSAYO		

DEFORMACIÓN VERTICAL			
ZONA 1	E1	R1	
		R2	
		R3	
	E2	R1	
		R2	
		R3	
	E3	R1	
		R2	
		R3	
ZONA 2	E1	R1	
		R2	
		R3	
	E2	R1	
		R2	
		R3	
	E3	R1	
		R2	
		R3	
ZONA 3	E1	R1	
		R2	
		R3	
	E2	R1	
		R2	
		R3	
	E3	R1	
		R2	
		R3	
ZONA 4	E1	R1	
		R2	
		R3	
	E2	R1	
		R2	
		R3	
	E3	R1	
		R2	
		R3	
ZONA 5	E1	R1	
		R2	
		R3	
	E2	R1	
		R2	
		R3	
	E3	R1	
		R2	
		R3	



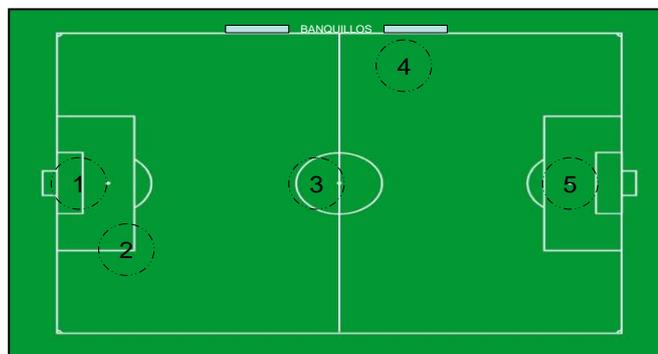
OBSERVACIONES

ENSAYO REALIZADO POR		

ANEXO 5. Hoja de toma de datos de absorción de impactos.

LOCALIDAD		
PROVINCIA		
NOMBRE INSTALACIÓN		
ORIENTACIÓN		
FECHA DE ENSAYO		
TEMPERATURA AMBIENTE	MÁXIMA	MÍNIMA
TEMPERATURA SUPERFICIE	MÁXIMA	MÍNIMA
CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS	VIENTO MÁXIMO	
HORA INICIO ENSAYOS		
HORA FINAL ENSAYOS	VIENTO MÍNIMO	
HUMEDAD RELATIVA ENSAYO		

ABSORCIÓN DE IMPACTOS			
ZONA 1	E1	R1	
		R2	
		R3	
	E2	R1	
		R2	
		R3	
	E3	R1	
		R2	
		R3	
ZONA 2	E1	R1	
		R2	
		R3	
	E2	R1	
		R2	
		R3	
	E3	R1	
		R2	
		R3	
ZONA 3	E1	R1	
		R2	
		R3	
	E2	R1	
		R2	
		R3	
	E3	R1	
		R2	
		R3	
ZONA 4	E1	R1	
		R2	
		R3	
	E2	R1	
		R2	
		R3	
	E3	R1	
		R2	
		R3	
ZONA 5	E1	R1	
		R2	
		R3	
	E2	R1	
		R2	
		R3	
	E3	R1	
		R2	
		R3	



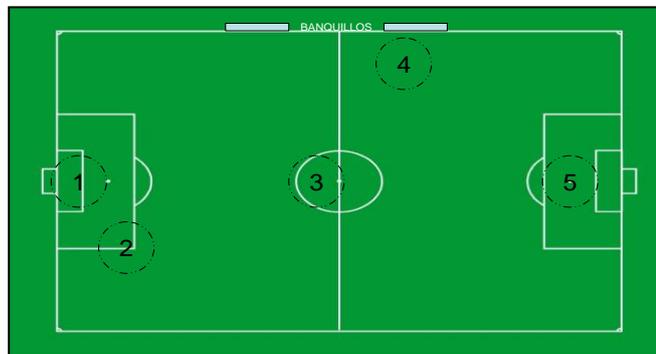
OBSERVACIONES	

ENSAYO REALIZADO POR		

ANEXO 6. Hoja de toma de datos de energía de restitución.

LOCALIDAD		
PROVINCIA		
NOMBRE INSTALACIÓN		
ORIENTACIÓN		
FECHA DE ENSAYO		
TEMPERATURA AMBIENTE	MÁXIMA	MÍNIMA
TEMPERATURA SUPERFICIE	MÁXIMA	MÍNIMA
CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS	VIENTO MÁXIMO	
HORA INICIO ENSAYOS		
HORA FINAL ENSAYOS	VIENTO MÍNIMO	
HUMEDAD RELATIVA ENSAYO		

ENERGÍA DE RESTITUCIÓN			
ZONA 1	E1	R1	
		R2	
		R3	
	E2	R1	
		R2	
		R3	
	E3	R1	
		R2	
		R3	
ZONA 2	E1	R1	
		R2	
		R3	
	E2	R1	
		R2	
		R3	
	E3	R1	
		R2	
		R3	
ZONA 3	E1	R1	
		R2	
		R3	
	E2	R1	
		R2	
		R3	
	E3	R1	
		R2	
		R3	
ZONA 4	E1	R1	
		R2	
		R3	
	E2	R1	
		R2	
		R3	
	E3	R1	
		R2	
		R3	
ZONA 5	E1	R1	
		R2	
		R3	
	E2	R1	
		R2	
		R3	
	E3	R1	
		R2	
		R3	



OBSERVACIONES	

ENSAYO REALIZADO POR		

ANEXO 7. Artículo 1

Personal pdf file for
M. Plaza-Carmona, G. Vicente-Rodriguez, M. Martín-
García, P. Burillo, J. L. Felipe, E. Mata, J. A. Casajús,
L. Gallardo, I. Ara

**Influence of Hard vs. Soft
Ground Surfaces on Bone
Accretion in Prepubertal
Footballers**

DOI 10.1055/s-0033-1345140
Int J Sports Med

For personal use only.
No commercial use, no depositing in repositories.

Publisher and Copyright
© 2013 by
Georg Thieme Verlag KG
Rüdigerstraße 14
70469 Stuttgart
ISSN 0172-4622

Reprint with the
permission by
the publisher only

Influence of Hard vs. Soft Ground Surfaces on Bone Accretion in Prepubertal Footballers

Authors

M. Plaza-Carmona¹, G. Vicente-Rodriguez², M. Martín-García³, P. Burillo⁴, J. L. Felipe⁵, E. Mata³, J. A. Casajús⁶, L. Gallardo¹, I. Ara⁷

Affiliations

Affiliation addresses are listed at the end of the article

Key words

- bone
- development
- physical activity
- footballer
- turf

Abstract

Information regarding osteogenic effects of physical activity performed on different playing surfaces is scarce. A total of 42 children (9.2 ± 0.2 years, Tanner stages I–II) participated in this study. 14 were playing on artificial turf soft ground (SG), 14 on a natural non-grass hard ground (HG) and 14 were assigned to the sedentary control group (C). Whole body and hip scans (dual energy X-ray absorptiometry), anthropometric variables (weight and height) and physical fitness ($VO_2\max$) were determined in all participants. Bone mineral content (BMC) values were higher in the SG group compared to the C group

at the legs (209.75 ± 5.11 g vs. 187.42 ± 5.14 g, respectively), pelvis (122.72 ± 4.27 g vs. 98.58 ± 4.29 g respectively) and whole-body level ($1\,126.1 \pm 22.81$ g vs. $1\,035.34 \pm 22.92$ g, respectively). The hard ground (HG) group also showed higher values in the majority of BMC variables compared to the C group. Additionally, bone mineral density (BMD) was significantly higher at all sites of the hip in both active groups compared to control ($P < 0.05$). No differences between HG and SG were found. In summary, similar bone mass accretion is obtained by prepubescent footballers independently of the surface on which they practice football.

Introduction

Acquiring a high bone mass during childhood and adolescence is a key determinant of adult skeletal health [26]. Nowadays, time devoted to practicing sports and/or physical activities is reduced while the time spent performing sedentary activities such as watching television, playing video games and/or sitting in front of the computer is increased [15,39], the latter being associated with an increased risk of having low bone mineral density (BMD) [36,39]. This sedentary life-style predisposes one to obesity and attenuates the accrual of bone mass leading to a lower peak bone mass [31].

Weight-bearing physical activity has an important osteogenic effect [5,9,22,31,38]. Low-impact exercises such as walking or climbing stairs are enough to increase BMD [16,24]. However, high-impact exercise such as football, handball or gymnastics produce a higher effect during the development of the bone mass in children and youth [33–35,40].

Football is a sport in which one of the most involved actions is running, which produces a high mechanical stress on the bones of the lower

extremities due to high reaction forces from ground towards the player [13]. Additionally, the forces generated while rapidly changing direction, stopping and landing, as well as during jumping and kicking, may confer excellent osteogenic properties to football at least in weight-bearing bone sites [9,21]. Long-term football participation, starting at prepubertal age, is associated with markedly increased BMC and BMD at the femoral neck and lumbar spine regions [7]. Ground reaction forces during athletic activity could explain part of this osteogenic effect in prepubescent boys [9]. The interaction between participants and the field surfaces results in different energy return (ER) levels as the ground becomes differently deformed during the athletic activity, and the energy exerted by the participant is either absorbed and/or dissipated depending on the characteristics of the surfaces. The ER is usually inversely associated with the impact cushioning of athletic playing surfaces. The smaller impacts accordingly absorb a greater energy return and vice versa. This phenomenon may be related to the development of bone mass [6]. However, to our knowledge no relevant data is available to date. The surfaces of the football

accepted after revision
April 05, 2013

Bibliography

DOI <http://dx.doi.org/10.1055/s-0033-1345140>
Published online: 2013
Int J Sports Med
© Georg Thieme
Verlag KG Stuttgart · New York
ISSN 0172-4622

Correspondence

María Plaza-Carmona
IGOID Toledo Research Group
University of Castilla-La Mancha
Avda Carlos III
45071 Toledo
Spain
Tel.: +34/925/268 800
Extn. 5544
Fax: +34/925/268 846 ma-
ria.plazacarmona@uclm.es

fields are evolving to accommodate greater economic efficiency and the highest number of hours of use. In recent years we have witnessed the transformation of football fields from natural hard surfaces to artificial surfaces (turf), surpassing the initial expectations and having great social acceptance probably due to its intensive use and low maintenance cost. To our knowledge, no studies have analyzed whether the osteogenic effect of football participation may vary depending on the ground surface characteristics and how this could influence the differences in BMD and BMC associated with the type of surface where the children play football (artificial turf soft ground (SG) vs. natural hard ground (HG) surface). On the other hand, soft surfaces are recommended for decreasing the incidence of injuries or the onset of diseases related to bones in adulthood [30].

The aim of the present study is thus to determine the influence of hard vs. soft ground surfaces on bone mass and density while performing athletic activities such as football. It seems necessary to provide valuable information for optimal bone development during the growing stage, while at the same time preventing future injuries or muscular diseases.

Materials and methods

▼ Participants

Healthy prepubertal (Tanner ≤ 2) male children from different schools and football clubs of Toledo (Spain) were recruited for the study. In total 42 boys ages 8–10 years were divided into 3 groups according to their physical activity patterns and the type of ground surface on which they trained. Sample size was calculated using the variable of interest with more variability, BMD, to get a power of 95% to detect differences in the contrast of null hypothesis $H_0: \mu_1 = \mu_2$ with a bilateral Student t-test for 2 independent samples with known variances. Taking into account that confidence level is 95%, and assuming that the expected mean difference between the reference and the experimental group is $0.13 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$ [38] and expected standard deviation of both groups is $0.07 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$ [38], it is necessary to include 8 experimental units in each group for a 1/1 rate. 14 were assigned to the non-grass hard ground group (HG) and 14 to the artificial turf soft ground group (SG) as they had been playing football on these surfaces for at least 1 year and at least 3 times per week. The other 14, whose physical activities were limited to those included in the compulsory physical education curriculum (2 weekly sessions of 45 min each) were assigned to the control group. All football players were recruited from sport clubs, while all control group participants were recruited from schools. According to their answers given during a personal interview, the control group participants did not participate in any kind of sport other than occasional children's games, nor had they done so for at least 1 year prior to the study.

In general, training football sessions lasted 1 h, including about 10 min of low-intensity games and stretching exercises, 10–25 min of technical football exercises (kicking actions, dribbling, jumping, and running with fast accelerations and decelerations), and 20–30 min of football match practice.

The boys answered a medical and a general questionnaire that included information regarding the number of hours of physical activity, past injuries, medication and any known diseases. The questionnaire included questions intended to obtain information about the experience (years of football practice), type of surface on which they played and bone disease or medication

affecting bone development. Both parents and children were informed about the aims and procedures of the study, as well as the possible risks and benefits before the start of the study. Children gave their verbal assent, and written informed consent was obtained from their parents.

The study was approved by the Ethical Committee of Clinical Research [17] (CEIC 13/10). The implementation of the various tests and the performance of the study complied with the to carry out the implementation of the various tests, and how it was performed according to the Declaration of Helsinki regarding the ethical principles for medical research involving human subjects.

Pubertal status assessment

The Tanner pubertal status of participants was determined by auto-evaluation, a method of recognized validity and reliability [8]. This test has been used in different studies related to bone accretion and athletic activity [18, 19, 35].

Cardiovascular fitness

The maximal oxygen uptake (VO_2max) was estimated using a maximal multistage 20-m shuttle run test as devised by Leger et al. [20]. Participants were required to run back-and-forth on a 20-m course and be on the 20-m line at the same time that a beep was emitted from a CD. The frequency of the sound signals increased in such a way that running speed started at $8.5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ and was increased by $0.5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ each minute. The length of time the participants were able to run was recorded to calculate the VO_2max . This test has proven to be valid and reliable for the prediction of the VO_2max in children ages 8–19 [20].

Bone and lean mass

The bone mineral content (BMC) and density (BMD) and lean mass (body mass – [fat mass + bone mass]) were measured using DXA (Hologic Serie Discovery QDR., Software Physician's Viewer, APEX System Software Version 3.1.2. Bedford, MA, USA). Densitometry is today's established standard for measuring BMD (National Osteoporosis Foundation).

DXA equipment was calibrated using a lumbar spine phantom and following the Hologic guidelines. Participants were scanned in supine position and the scans were performed at high resolution. Lean mass (LM; g), fat mass (FM; g), total area (cm^2), and BMD ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$) were calculated from total and regional analysis of the whole body scan. BMC (g) was calculated using the formula $\text{BMC} = \text{BMD} \cdot \text{area}$. Lean mass of the limbs was assumed to be equivalent to the muscle mass. Laboratory precision errors for regional analysis of the complete body scan, defined by the coefficient of variation (CV) for repeated measures estimated in young volunteers with repositioning, were as follows: BMC < 3.5%, BMD < 4%, bone area < 4.8%, and fat-free lean mass < 3.3%.

An additional examination was conducted to estimate bone mass at the proximal region of the femur. Bone mineral content and density values of the femoral neck, greater trochanter, intertrochanteric and Ward's triangle subregions were also analysed.

Characterisation of the football playing surfaces

2 hard playing surfaces (Field 1 "Municipal de Lillo" and Field 2 "Municipal de Tembleque") were included in the study. Additionally, three third generation synthetic football fields with sand and rubber infill (Field 3 "Agustin de la Fuente", Field 4 "Municipal de Deportes de Illescas" and Field 5 "Anexo San Miguel-Fútbol 7") were randomly selected from the available SG field of the region. All football fields we sampled were less than 5 years old.

For the study, the following the regulatory tests were conducted 'in situ' as presented in EN 15330-1:2007, in the Handbook of Test Methods for Football Turf [12], in the Field Tests section: vertical deformation, shock absorption, rotational resistance. The vertical deformation was calculated with a test kit known as Triple A (Advanced Artificial Athlete). The Triple A has displacement sensors in the bottom of the machine to measure the displacement thereof due to the force applied by the mass when it is dropped (EN 14809:2005).

To assess shock absorption, we used the same instrument for measuring vertical deformation (Triple A). In this process, a mass is dropped from a known height using a spring of controlled stiffness to simulate the damping effect of the ankle or knee joints (EN 14808:2005). When this mass hits the pavement, the maximum force applied by the signal from a load cell is recorded, since this value is computed force reduction taking the maximum force obtained as a concrete pavement.

For rotational resistance (EN 15301-1:2007), the torque required to rotate a loaded test foot in contact with the surface is measured. The torque (46 kg of weight) is dropped from a height which can vary between 5 and 7 cm so that the studs are implanted into the ground. At that point in time, the tool is rotated without pressure until the soil yields. The measured parameter is the maximum tensile rotational surface (Newton meter) or the resistance to rotation, which is the same.

The vertical deformation represents the stability of the athletes on the surface and in this sense is considered by several authors as an indicator of protection and comfort [25,28,29]. The percentage of shock absorption, which results from the field test, is an indicator of the protective function of the playing surface

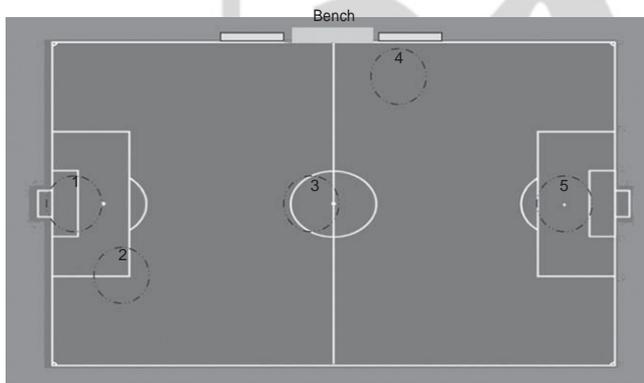


Fig. 1 Assessed areas of the football fields.

[1,28]. The energy return reflects the grip of athletic shoes on the playing surface during a turning movement or rotation.

Average data was recorded for each of the different areas evaluated in the field. 5 trials of each test were conducted at 5 different areas of the field as established by the normative (Fig. 1).

The tests were conducted on all the 5 football fields under stable meteorological conditions (dry), with wind speed between 0 and 0.5 m/s and temperature between +8 °C and +25 °C in compliance with EN 15330-1:2007, which states that these tests should be performed between +5 °C and +35 °C without affecting the pitch characteristics. Data were taken from the 3 test methods at the 5 positions set by the EN 15330-1:2007 protocol for football.

Statistical analysis

All the residuals showed a satisfactory pattern (normal distribution). Data are presented as mean values and standard deviation unless otherwise stated. Differences between groups were established using ANOVA. Analyses of covariance (ANCOVA) were performed to evaluate differences in bone and lean mass, with body mass being entered as a covariate. The reason for using these covariates is based on evidence identifying height and body mass as influential factors on muscle mass and bone mass during the ages of growth [11,32]. Calculations of Eta squared (η^2) for ANCOVA comparisons, known to be a good estimation of the effect size, were also performed. A value of $\eta^2 \leq 0.01$ corresponds to low effect size, $\eta^2 \approx 0.06$ corresponds to medium effect size and $\eta^2 \geq 0.14$ corresponds to high effect size. Additionally, bivariate correlation and multiple linear regression analyses were applied to identify the relationship among physical fitness, lean mass and bone mass variables. SPSS package (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) for personal computers was used for the statistical analysis. Significant differences were assumed when $P < 0.05$.

Results

Physical characteristics and physical fitness

The participant's age, anthropometrics, and physical fitness data are summarized in Table 1. The HG group was heavier than the SG group with lower total and truncal fat and higher VO_{2max} compared to the controls (all $P < 0.05$; Table 1). In addition, the SG group showed 3.6 points of percentage lower % body fat (%BF) with a 26 % lower truncal fat and a 9.4 % higher lean mass in the legs compared with the control group (all $P < 0.05$).

Variables	Hard Ground (HG)	Soft Ground (SG)	Controls	N
age (year)	9.42 ± 0.17	8.92 ± 0.16	9.28 ± 0.09	14-14-14
body mass (Kg)	38.86* ± 1.99	35.12 ± 1.97	36.87 ± 2.73	14-14-14
height (cm)	140.88 ± 1.79	138.40 ± 1.46	140.27 ± 2.35	14-14-14
BMI (kg/m ²)	19.49 ± 0.21	18.10 ± 0.21	18.07 ± 0.20	14-14-14
% BF	31.28 ± 0.84	28.62# ± 0.85	32.18 ± 0.81	14-14-14
TFM(g)	11 229.44† ± 311.15	11 165.95 ± 314.40	12 491.56 ± 303.06	14-14-14
FMTTr(g)	4 712.45† ± 174.23	3 912.84# ± 176.04	4 927.53 ± 169.69	14-14-14
TLM(g)	24 017.40 ± 585.14	23 089 ± 591.23	22 780.91 ± 569.91	14-14-14
LML(g)	3 837.88 ± 83.40	3 996.19# ± 84.27	3 650.52 ± 81.23	14-14-14
VO_{2max} (ml/kg · Min ⁻¹)	49.77† ± 1.076	55.57*# ± 1.087	43.79 ± 1.048	14-14-14

Body mass index (BMI); Total fat mass(TFM); Fat mass trunk (FMTTr); Total lean mass(TLM); Lean mass legs (LML)

#Soft Ground vs. Controls

*Hard Ground vs. Soft Ground

†Hard Ground vs. Controls

Table 1 Participants' age, anthropometrics and physical fitness results (mean ± SEM).

Similarly, the SG group exhibited a 11.6% and 26.9% higher VO₂ max compared to HG and controls respectively (both $P < 0.05$; ◐ **Table 1**).

Body composition

The ◐ **Table 2** shows the body weight adjusted BMC (g) and BMD (g·cm⁻²) from the whole-body and femoral scans. No differences were found between HG and SG for any of the bone-related variables. Compared to controls, HG showed higher pelvic, femoral neck and intertrochanteric BMC; and higher pelvic, femoral neck, trochanteric and intertrochanteric BMD (all $P < 0.05$; ◐ **Table 2**). Compared to controls, SG exhibited higher total, pelvic, leg, femoral neck, trochanteric and intertrochanteric BMC, as well as higher pelvic, femoral neck, trochanteric and intertrochanteric BMD (all $P < 0.05$; ◐ **Table 2**). No differences in BMC and BMD were found when both active groups were compared. The η^2 values range from medium to high effect size for all the comparisons and mostly high for all the comparisons showing significant differences, suggesting a high biological significance.

Relationship of bone mass and density with characteristics of the football grounds

Data from the characterisation of the football playing surfaces is shown in ◐ **Table 3**. Additionally, multiple regression analysis showed that vertical deformation and energy restitution were the variables with the highest predictive value for both total BMC and BMD increments, being 12% and 19% in the SG, while the corresponding values were 7% and 2% in the HG. Among all bone mass and density variables, BMC from the intertrochanteric zone and the femoral neck showed the highest correlation with vertical deformation ($r = 0.69-0.70$, $P < 0.05$) for the HG, while trochanteric BMD showed the highest correlation with the shock absorption and vertical deformation in the SG ($r = 0.60-0.64$, $P < 0.05$) (◐ **Table 4**).

Discussion

The main finding of the present study is that similar bone mass accretion is obtained by prepubescent footballers independently of the surface on which they practice football (hard vs. soft). Additionally, better physical fitness and lower adiposity was also found in the soft ground group compared to their sedentary counterparts.

Bone mass and field surface

It is already well known that participation in sports in general and football in particular are beneficial to bone health [2,9]. Numerous studies showing the benefits of football in men or women have documented higher whole body, hip and lumbar bone mass [2,7]. Furthermore, the prepubertal human skeleton is rather sensitive to mechanical loading, indicating a favorable effect of pursuing this kind of athletic activity at this age [27]. In fact, the femoral neck area appears to be particularly sensitive to the mechanical stress elicited by football actions, as reflected in the 7% higher femoral neck BMD [34]. Since it has been demonstrated that gains in bone mass are retained after an equivalent period of detraining [14], [3] a greater prepubescent femoral BMD might translate into reduced risk of bone fractures later in adult life.

Previous cross-sectional studies demonstrated that recreational football players who started participating in football during

Table 2 Body weight adjusted (ANCOVA) bone mineral content (BMC; g) and density (BMD; g·cm⁻²) from the whole-body and femoral scans.

	HG		SG		CONTROL		η^2 HG vs. CON	η^2 SG vs. CON	ANCOVA Power
	Mean	SEM	Mean	SEM	Mean	SEM			
BMC									
mean arms	57.14 ± 1.85		57.93 ± 1.82		53.21 ± 1.83		0.06	0.11	0.34
pelvic	114.54† ± 4.33	(52.76-61.90)	122.72# ± 4.27	(105.06-126.62)	98.58 ± 4.29	(52.6-61.4)	0.15	0.24	0.74
mean legs	205.27 ± 5.19	(189.92-222.43)	209.75# ± 5.11	(189.92-222.43)	187.42 ± 5.14	(108.9-130.9)	0.08	0.11	0.4
head	323.42 ± 10.13	(306.15-344.61)	311.83 ± 9.99	(306.15-344.61)	305.28 ± 10.04	(192.43-224.86)	0.07	0.03	0.25
total	1110.14 ± 23.14	(1047.95-1183.53)	1126.1# ± 22.81	(1047.95-1183.53)	1035.34 ± 22.92	(1053.15-1188.43)	0.08	0.1	0.4
femoral neck	3.13† ± 0.16	(2.79-3.41)	3.17# ± 0.15	(2.79-3.41)	2.51 ± 0.15	(2.86-3.48)	0.19	0.26	0.77
trochanter	4.18 ± 0.23	(4.77)	4.54# ± 0.23	(13.37-16.67)	3.57 ± 0.23	(3.02-4.07)	0.09	0.2	0.65
intertroch. zone	14.62† ± 0.77	(0.79-0.99)	15.32# ± 0.76	(0.79-0.99)	10.98 ± 0.76	(0.81-1.01)	0.32	0.43	0.97
ward's triangle	0.85 ± 0.04		0.92 ± 0.04		0.84 ± 0.04	(0.73-0.93)	0.03	0.05	0.17
BMD									
mean arms	0.539 ± 0.01	(0.517-0.555)	0.538 ± 0.01	(0.517-0.555)	0.52 ± 0.01	(0.524-0.561)	0.06	0.12	0.38
pelvic	0.826† ± 0.018	(0.790-0.857)	0.824# ± 0.017	(0.790-0.857)	0.756 ± 0.018	(0.796-0.864)	0.2	0.27	0.871
mean legs	0.859 ± 0.015	(0.832-0.898)	0.868 ± 0.015	(0.832-0.898)	0.828 ± 0.015	(0.839-0.905)	0.08	0.12	0.45
head	1.436 ± 0.04	(1.371-1.522)	1.404 ± 0.039	(1.371-1.522)	1.380 ± 0.039	(1.321-1.471)	0.05	0.05	0.19
total	0.843 ± 0.013	(0.820-0.873)	0.841 ± 0.012	(0.820-0.873)	0.809 ± 0.012	(0.815-0.868)	0.11	0.1	0.49
femoral neck	0.743† ± 0.097	(0.678-0.792)	0.733# ± 0.078	(0.678-0.792)	0.595 ± 0.061	(0.687-0.800)	0.3	0.31	0.96
trochanter	0.766† ± 0.023	(0.718-0.814)	0.739# ± 0.023	(0.718-0.814)	0.628 ± 0.023	(0.696-0.792)	0.35	0.29	0.98
intertroch. zone	0.892† ± 0.026	(0.850-0.955)	0.936# ± 0.025	(0.850-0.955)	0.767 ± 0.025	(0.885-0.989)	0.32	0.52	1
ward's triangle	0.721 ± 0.036	(0.663-0.814)	0.809 ± 0.036	(0.663-0.814)	0.686 ± 0.036	(0.722-0.873)	0.14	0.21	0.46

†Hard Ground vs. Controls; #Soft Ground vs. Controls; HG, hard ground; SG, soft ground; CON, control

their prepubertal years have between 13 and 24 % greater regional BMC than the control participants [7]. Authors showed that the effect of football participation is already detectable in prepubertal children, which is consistent with the present results [35]. In this regard it is important to point out that other sport modalities, such as artistic gymnastics, have shown osteogenic properties in prepubescent girls [21] and peripubertal and pubertal boys [22]. However, an important difference between these studies and ours is the amount of exercise that children undergo. Footballers in our study obtained these osteogenic benefits with low training loads (3–4 h per week), while the gymnasts who have achieved these effects did so with loads of 2–3 h per day of training. This implies that a significant prepubertal osteogenic effect, which has been called “window of opportunity for bone response in early puberty” by McKay and colleagues [23], may be achieved with various types of short and simple exercises that could be performed in school-based programs.

Children participating in most of the studies demonstrating osteogenic effects on prepubertal bones were playing football on hard surfaces [35,36,38], which may involve higher ground reaction forces than those present in soft grounds. However, no studies have tested whether the osteogenic effect of football in growing skeletons remains even if the playing surfaces have changed in general. The present results suggest that the SG and the HG seem to have the same beneficial osteogenic response in

prepubertal footballers, despite HG showing higher energy return levels (72 vs. 31 % in HG and SG, respectively), lower shock absorption (21 vs. 64 % respectively) and vertical deformation (0.2 vs. 6.2 mm). Thus, although the physical characteristics of the fields are different, it would appear that they are ultimately balanced and produce similar beneficial effects in the bone acquisition in response to the physical stress. The mechanisms behind this phenomenon need to be further studied in order to elucidate whether the results for the SG might be more related to muscular actions whereas those for the HG may be more related to impact intensity.

Consistent with previous studies on the same sport, children who do not play football have lower fitness and greater fat mass compared to footballers [35]. Football is a sport in which one of the most important physical capabilities is aerobic capacity. This could explain why children who play football have a higher VO_2max . In the present study we found that the sedentary participants had worse physical fitness (between 12–22 % lower VO_2max .) and higher fat mass (between 0.9–3.6 %) than football players.

It is important to keep in mind for future studies that the playing surface characteristics and state of conservation may not be the only influencing factors for body composition and fitness. It has been reported that the impact absorption characteristics of a 5-year old artificial surface had significantly deteriorated compared to a newly laid surface and that the coefficient of sliding friction was affected by surface wetness. Differences have been reported also between wet and dry conditions for the coefficient of sliding friction, with wet generally being lower than dry. The direction of the pile of a surface affects its frictional properties [4]. A high energy reduction makes football player need more effort to jump or change direction. This therefore involves increased energy expenditure and increased fatigue (similar to if the actions were performed on beach sand). Although similar levels of reduction in force may have different energy behavior [31], the energy return is usually inversely associated with the damping impacts of athletic playing surfaces.

In addition, previous studies [10] explained that the coefficients of friction between the playing surfaces and football shoes are a crucial factor when it comes to injuries, because they influence

Table 3 Soccer grounds results.

	Vertical deformation (mm)	Shock absorption (%)	Energy return (%)
hard ground			
field 1	0.2	21.9	71.6
field 2	0.2	20.3	72.3
mean	0.2	21.1	72.0
soft ground			
field 1	5.5	61	37.7
field 2	5.9	61.2	36.8
field 3	7.3	70.3	42.7
mean	6.2	64.2	39.1

	Vertical deformation	Shock absorption	Energy return
BMC			
T spine	0.16/ -0.15	-0.24/ -0.17	0.24/ -0.19
L spine	-0.06/0.39	0.16/0.36	-0.16/0.34
pelvic	0.02/0.11	0.06/0.08	-0.06/0.04
mean legs	0.14/ -0.18	0.13/ -0.21	-0.23/ -0.23
total	0.01/ -0.13	0.08/ -0.17	-0.08/ -0.19
femoral neck	0.69*/0.37	0.47*/0.39	-0.47*/0.40
trochanter	0.01/0.10	0.28/0.09	-0.28/0.08
intertrochanteric zone	0.70*/ -0.35	0.37/ -0.38	-0.37/ -0.40
ward's triangle	0.39/0.52*	0.36/0.55*	-0.36/0.58*
BMD			
T spine	0.09/0.27	-0.12/0.24	0.12/0.22
L spine	-0.06/0.16	-0.32/0.12	0.32/0.08
pelvic	0.15/ -0.30	-0.03/ -0.34	0.03/ -0.37
mean legs	-0.03/ -0.52*	-0.01/ -0.55*	-0.57*/ -0.57*
total	-0.06/ -0.20	0.08/0.39	-0.08/ -0.27
femoral neck	0.49*/0.54*	0.24/0.56*	-0.24/0.57*
trochanter	0.38/0.64*	0.06/0.60*	-0.06/0.57*
intertrochanteric zone	0.37/0.29	0.08/0.28	-0.08/0.26
ward's triangle	0.51*/0.40	0.36/0.45	-0.39/0.49*

Table 4 Correlation matrix between vertical deformation, shock absorption and energy return on one side and BMC and BMD variables on the other for hard/ soft ground.

both the proper execution of technique and the optimization of performance. Inadequate traction may cause the player to abruptly remain stuck on the grass during a turn, thereby increasing the risk of an injury, especially those related to the ligaments of the knee. Because our fields in this trial were compliant with the EN 15330-1:2007, none of the yielded values above 50 Nm or below 25 Nm, thereby reducing the risk of an injury and optimizing athletic performance.

Limitations and strengths

Some limitations of this study warrant comment. Nowadays it is increasingly common to install soft surface fields (artificial turf). This fact has hampered the collection of youth football teams playing on hard surface fields. As a result, it became difficult to recruit children who regularly play only on hard surface fields. Despite this fact, it would have been interesting to increase the number of participants for each group. On the other hand, due to the cross-sectional design of this study we cannot assure the causality of the observations. Baseline values of all participants before they started playing on the different surfaces were not assessed. A more novel approach would have been to use pQCT and assess bone geometry/bone structure as well as DXA.

Conclusions

Similar bone mass accretion is obtained by prepubescent footballers independently of the surface on which they play football (hard vs. soft). Additionally, a marked osteogenic effect independent of playing surfaces was found in active prepubertal children, which may facilitate the acquisition of a higher bone mineral peak during growth.

Affiliations

- ¹IGOID Toledo Research Group, University of Castilla-La Mancha, Toledo, Spain
- ²Physiotherapy and Nursing, University of Zaragoza, Huesca, Spain
- ³GENUD Toledo Research Group, University of Castilla-La Mancha, Toledo, Spain
- ⁴Sports Science Institute, University Camilo Jose Cela, Madrid, Spain
- ⁵Faculty of Sport Sciences, European University of Madrid, Spain
- ⁶Department of Nursery and Physiatry, Zaragoza University, Zaragoza, Spain
- ⁷Physical Activity and Sport Sciences, University of Castilla-La Mancha, Toledo, Spain

References

- 1 Alcántara E, Gámez J, Rosa Sanchis M. Analysis of the influence of rubber infill morphology on the mechanical performance of artificial turf surfaces for soccer. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: J Sports Engin Technol* 2009; 223: 1–9
- 2 Alfredson H, Nordstrom P, Lorentzon R. Total and regional bone mass in female soccer players. *Calcif Tissue Int* 1996; 59: 438–442
- 3 Bass S, Pearce G, Bradney M, Hendrich E, Delmas PD, Harding A. Exercise before puberty may confer residual benefits in bone density in adulthood: Studies in active prepubertal and retired female gymnasts. *J Bone Miner Res* 1998; 13: 500–507
- 4 Bowers KD, Martin RB. Cleat-surface friction on new and old AstroTurf. *Med Sci Sports* 1975; 7: 132–135
- 5 Bravo G, Gauthier P, Roy PM, Payette H, Gaulin P, Harvey M. Impact of a 12-month exercise program on the physical and psychological health of osteopenic women. *J Am Geriatr Soc* 1996; 44: 756–762
- 6 Burillo P, Felipe JL, Gallardo A, Gallardo L, Sanchis M, Pérez V. El césped artificial. La revolución del pavimento en el fútbol: Instituto de Biomecánica de Valencia, 2010
- 7 Calbet JAL, Dorado C, Díaz-Herrera P, Rodríguez-Rodríguez LP. High femoral bone mineral content and density in male football (soccer) players. *Med Sci Sports Exerc* 2001; 33: 1682–1687
- 8 Duke PM, Litt IF, Gross RT. Adolescents' self assessment of sexual maturation. *Pediatrics* 1980; 66: 918–920
- 9 Duppe H, Gardsell P, Johnell O, Ornstein E. Bone mineral density in female junior, senior and former football players. *Osteoporos Int* 1996; 6: 437–441
- 10 Farhat N, Mata V, Rosa D, Fayos J, Peirau X. Musculo-skeletal model for knee joint forces estimation in sport activities. In, 7th EUROMECH Solid Mechanics Conference ESMC2009Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2009
- 11 Faulkner RA, Bailey DA, Drinkwater DT, McKay HA, Arnold C, Wilkinson AA. Bone densitometry in Canadian children 8–17 Years of Age. *Calcif Tissue Int* 1996; 59: 344–351
- 12 FIFA. FIFA Quality Concept for Football Turf. Handbook of Requirements. Zurich: Fédération Internationale de Football Association, 2012
- 13 Freychat P, Belli A, Carret JP, Lacour JR. Relationship between rearfoot and forefoot orientation and ground reaction forces during running. *Med Sci Sports Exerc* 1996; 28: 225–232
- 14 Fuchs RK, Snow CM. Gains in hip bone mass from high-impact training are maintained: A randomized controlled trial in children. *J Pediatr* 2002; 141: 357–362
- 15 Gracia-Marco L, Rey-López JP, Santaliestra-Pasías AM, Jiménez-Pavón D, Díaz LE, Moreno LA, Vicente-Rodríguez G. Sedentary behaviours and its association with bone mass in adolescents: the HELENA cross-sectional study. *BMC Public Health* 2012; 971
- 16 Grove K, Londeree B. Bone density in postmenopausal women: high impact vs low impact exercise. *Med Sci Sports Exerc* 1992; 24: 1190–1194
- 17 Harriss DJ, Atkinson G. Ethical standards in sport and exercise science research. *Int J Sports Med* 2011; 32: 819–821
- 18 Hind K, Burrows M. Weight-bearing exercise and bone mineral accrual in children and adolescents: A review of controlled trials. *Bone* 2007; 40: 14–27
- 19 Karlsson MK, Nordqvist A, Karlsson C. Physical activity increases bone mass during growth. *Food Nutr Res* 2008; 2–10
- 20 Leger LA, Mercier D, Gadoury C, Lambert J. The multistage 20 m shuttle run test for aerobic fitness. *Scand J Med Sci Sports* 1988; 6: 93–101
- 21 Lehtonen-Veromaa M, Mottonen T, Svedstrom E, Hakola P, Heinonen OJ, Viikari J. Physical activity and bone mineral acquisition in peripubertal girls. *Scand J Med Sci Sports* 2000; 10: 236–243
- 22 Lima F, De Falco V, Baima J, Carrazzato JG, Pereira RM. Effect of impact load and active load on bone metabolism and body composition of adolescent athletes. *Med Sci Sports Exerc* 2001; 33: 1318–1323
- 23 MacKelvie KJ, Khan KM, McKay HA. Is there a critical period for bone response to weight-bearing exercise in children and adolescents? a systematic review. *Br J Sports Med* 2002; 36: 250–257
- 24 Martyn-St James M, Carroll S. A meta-analysis of impact exercise on postmenopausal bone loss: the case for mixed loading exercise programmes. *Br J Sports Med* 2008; 43: 898–908
- 25 Naunheim R, Parrott H, Standeven J. A Comparison of Artificial Turf. *J Trauma Inj Infect Crit Care* 2004; 57: 1311–1314
- 26 Rizzoli R, Bianchi ML, Garabédian M et al. Maximizing bone mineral mass gain during growth for the prevention of fractures in the adolescents and the elderly. *Bone* 2010; 46: 294–305
- 27 Rizzoli R, Bonjour JP. Determinants of Peak Bone Mass and Mechanisms of Bone Loss. *Osteoporos Int* 1999; 2: 17–23
- 28 Rosa D. Aspectos biomecánicos de los pavimentos deportivos. Hierba artificial. In, III Curso de Experto Universitario en Gestión del Césped Deportivo Natural y Artificial. Las Rozas: Fundación RFEF y UCLM, 2009
- 29 Rosa D, Sanchis M, Alcántara E et al. Avances en el estudio de campos de hierba artificial, aportaciones biomecánicas. In: Pérez P, Llana S (eds.). *Biomecánica aplicada a la actividad física y al deporte*. Valencia: Ayuntamiento de Valencia, 2007; 405–429
- 30 Ross MH, Pawlina W. *Histology: A text and atlas with correlated cell and molecular biology*. 6ed. Lippincott Williams & Wilkins, 2010
- 31 Rutherford O. Is there a role for exercise in the prevention of osteoporotic fractures? *Br J Sport Med* 1999; 33: 378–386
- 32 Slemenda CW, Miller JZ, Hui SL, Reister TK, Johnston CC. Role of physical activity in the development of skeletal mass in children. *J Bone Miner Res* 1991; 6: 1227–1233
- 33 Vicente-Rodríguez G, Ara I, Dorado C, Pérez J, Calbet J. Actividad Física y masa ósea en niños y niñas prepúberes. *Arch Med Deporte* 2003; 20: 52–58
- 34 Vicente-Rodríguez G. How does exercise affect bone development during growth? *Int J Sports Med* 2006; 36: 561–569

- 35 *Vicente-Rodríguez G, Ara I, Pérez-Gómez J, Serrano-Sánchez JA, Dorado C, Calbet JAL.* High femoral bone mineral density accretion in prepubertal soccer players. *Med Sci Sports Exec* 2004; 1789–1795
- 36 *Vicente-Rodríguez G, Dorado C, Perez-Gomez J, Gonzalez-Henriquez JJ, Calbet JAL.* Enhanced bone mass and physical fitness in young female handball players. *Bone* 2004; 35: 1208–1215
- 37 *Vicente-Rodríguez G, Ezquerro J, Mesana MI, Fernández-Alvira JM, Rey-López JP, Casajus JA.* Independent and combined effect of nutrition and exercise on bone mass development. *J Bone Miner Res* 2008; 26: 416–424
- 38 *Vicente-Rodríguez G, Jimenez-Ramirez J, Ara I, Serrano-Sanchez JA, Dorado C, Calbet JAL.* Enhanced bone mass and physical fitness in prepubescent footballers. *Bone* 2003; 33: 853–859
- 39 *Vicente-Rodríguez G, Ortega FB, Rey-López JP, España-Romero V, Blay VA, Blay G.* Extracurricular physical activity participation modifies the association between high TV watching and low bone mass. *Bone* 2009; 45: 925–930
- 40 *Vicente-Rodríguez G, Urzankui A, Mesana MI, Ortega FB, Ruiz JR, Ezquerro J.* Physical fitness effect on bone mass is mediated by the independent association between lean mass and bone mass through adolescence: a cross-sectional study. *J Bone Miner Res* 2008; 26: 288–229



ANEXO 8. Artículo 2

HIGHER BONE MASS IN PREPUBERAL AND PERIPUBERAL FEMALE FOOTBALLERS

Plaza-Carmona, M.¹; Vicente-Rodríguez G.², Gómez-Cabello, A.^{2,3}, Martín-García M.⁴, Sánchez-Sánchez, J.⁵, Gallardo, L.¹; Ara, I⁴

¹IGOID Research Group, University of Castilla-La Mancha, Spain

²GENUD “Growth, Exercise, Nutrition and Development” Research Group. Universidad de Zaragoza, Spain.

³ Centro Universitario de la Defensa, Zaragoza, Spain.

⁴ GENUD Toledo Research Group, University of Castilla-La Mancha, Spain.

⁵UCAM-Universidad Católica San Antonio de Murcia, Spain.

Running title: Higher bone mass in female footballers

Correspondence address

María Plaza Carmona

IGOID Toledo Research Group

Avda. Carlos III s/n

45071 Toledo (Spain)

Phone: 925 268 800 Ext 5544

Fax: 925 268 846

Email: maria.plazacarmona@gmail.com

Abstract

Introduction: It is widely known that sport participation is associated with increased bone mass, reduced fat mass and higher lean body mass. Several studies have shown that during growth, football participation can result in a healthier body composition in male prepuberal footballers. However, data related to these effects in females is scarce. Therefore, the main aim of this study is to evaluate the influences of football practice on bone mass in females of different pubertal stages. **Material & methods:** A total of 65 girls aged 8-14 years (10.14 ± 0.1 , Tanner stages I-IV) participated in the study. Twenty participants were prepuberal (10 prepuberal control) and 45 were peripuberal (15 prepuberal control). All football players trained two days per week while the control group did not perform physical activity outside of school. Body composition was assessed by DXA. **Results:** Significant differences in legs lean mass between peripuberal groups were found ($p < 0.05$). Additionally, prepuberal footballers showed higher values of bone mineral content (BMC) at the femoral neck ($p < 0.05$) while peripuberal footballers exhibited enhanced BMC at the whole-body, trochanter and Wards triangle area. Lastly, bone mineral density (BMD) was higher in the prepuberal football group at the femoral neck and intertrochanter ($p < 0.05$ respectively) while higher values in most of the studied body sites were found in peripuberal football participants. **Conclusion:** Female footballers showed higher bone and lean body masses compared to their non-active counterparts; these differences are already detectable at prepubertal ages and seems to have a tendency to be more consistent after pubertal spurt.

Keywords: BMD, BMC, soccer, football, children, osteoporosis.

Mini Abstract

The aim of this study is to evaluate the influences of football on bone mass in females of different pubertal stages. Female footballers showed higher bone mass compared to their non-active counterparts; these differences are already detectable at prepubertal ages and seem to be more consistent after pubertal spurt.

Introduction

The practice of physical activity in childhood is essential for improving bone development and maintaining it during adulthood [1,2]. Changes in bone mineral density (BMD) depend in a 70% on genetics; however, a 30% is influenced by other factors, such as nutrition and physical activity [3]. Therefore, exercise has been suggested as an important non-pharmacological osteogenic tool during growth and therefore able to prevent osteoporosis later in life [4,5].

Osteoporosis is a bone disease that is spreading faster and becoming more frequent in our society, with transcendent social and economic consequences [6] and showing a higher prevalence between women, especially after the age of 50 [7] and this is why it is of special interest to understand the effect of football participation in female adolescents.

Adolescence is the period of time when the bone grows faster [8,9] accumulating 40% of their total bone mass. This moment is crucial to reach an adequate peak of bone mass that will be an important protector factor for osteoporosis later in life [10]. The latter makes childhood and adolescence a critical period to develop behaviours that increase bone mass, including the sport participation in the lifestyle of children [11,12].

Throughout life, women lose between 30-50% of their total bone mass, starting from the time of the peak bone mass. Therefore, the benefits of sport are higher when it is initiated before menarche, due to its contribution to attain higher peak bone mass [13,14].

Studies regarding the osteogenic effect of exercise showed that benefits on bone mineral content (BMC) and BMD are obtained through the practice of certain sports producing mechanical stress on bones, especially during the development [15,2]. In fact, a recent publication [16] establish that at least 78 minutes of moderate to vigorous physical activity a day are needed to produce bone adaptations during growth; however, 28 to 32 minutes of vigorous physical activity are enough to produce adaptations in clinical relevant zones regarding osteoporosis fractures. Reason why football becomes an optimal sport for developing adequate bone mass due to time devoted, intensity and the mechanical characteristics of this sport, such as continuous running, quick changes of direction, nods and kicks [17].

The benefits of playing football on bone mass in young boys have been previously demonstrated [18-20] however, few studies explored this effect in female footballers, which may be of great relevance due to their increased risk and higher prevalence of

osteoporosis in adulthood and senescence.

Therefore, the aims of this study are: to determine the influence of football participation on bone mass in girls from 8 to 14 years compared with age-matched sedentary girls and to test whether this influence is independent of the pubertal status.

Methods

Subjects

A total of 65 girls aged 8 to 14 years were recruited for the study. The participants were divided into 4 groups according to Tanner staging (prepuberal with Tanner ≤ 2 vs. peripuberal with Tanner 3-4) and whether they practiced football or did not do any physical activity outside school. The final groups were: prepuberal footballers (n=10), prepuberal control (n=10), peripuberal footballers (n=30) and peripuberal control (n=15). The length of exposure to football practice was 2.5 ± 0.7 years in prepuberal footballers and 4.3 ± 1.8 years in peripuberal footballers. Descriptive characteristics of each group are shown in Table 1.

The football players were recruited from sport clubs, while all the participants from the control group were recruited from schools. Training football sessions lasted 1 h, including about 10 min of low-intensity games and stretching exercises, 10–25 min of technical football exercises (kicking actions, dribbling, jumping, and running with fast accelerations and decelerations), and 20–30 min of football match practice. In addition, all players have a competitive match every weekend. The physical activity of the control groups was limited to that included in the compulsory physical education curriculum (2 weekly sessions of 50 min each).

Parents and girls were informed about the aims and procedures of the study, as well as the possible risks and benefits before the start of the study. Girls and parents gave their written informed consent of the study. Then, all participants answered a medical and physical activity questionnaire. This questionnaire collected aspects of lifestyle, disease and broken bones, hours of training and physical activity habits.

The study was approved by the Ethical Committee of Clinical Research (The C.E.I. University hospital center of Albacete-CEIC 13/10) and it was performed according to the Declaration of Helsinki on the basis of ethical principles for medical research involving human described in it.

Pubertal development

The pubertal status of the subjects was determined by self-assessment through the Tanner Test. This test classifies adolescents in one of the five states that provide pubertal maturity defined by Tanner and Whitehouse [21].

Bone and lean mass

Dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) (Hologic Serie Discovery QDR., Software Physician's Viewer, APEX System Software Version 3.1.2. Bedford, MA, USA) was used to measure lean mass (LM, g), fat mass (FM, g), BMC (g) and BMD ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$) from total and regional analysis of the whole body scan. BMC was calculated using the formula $\text{BMC} = \text{BMD}\cdot\text{area}$. Whole body scans were submitted to a regional analysis to determine the composition of the arm, leg and trunk regions as described elsewhere [22]. LM of the limbs was assumed to be equivalent to the muscle mass. In addition, one examination was conducted to determinate bone mass at the proximal region of the femur. BMC and BMD values of the femoral neck, greater trochanter, intertrochanteric region, total hip, and Ward's triangle subregions were also analyzed. DXA equipment was calibrated using a lumbar spine phantom as recommended by the manufacturer. The girls were scanned in supine position and the scans were performed at high resolution.

Statistical analysis

All the residuals showed a satisfactory pattern (normal distribution). Data are presented as mean and standard error of the mean unless otherwise stated. Differences between groups (prepuberal footballers vs. prepuberal control and peripuberal footballers vs. peripuberal control) were assessed by one-way analysis of variance (ANOVA). Analysis of covariance (ANCOVA) was performed to evaluate differences in the lean and bone masses, establishing as covariates height, body mass and age. The reason for using these covariates is based on the studies carried out by [23] and [24], which showed that height and body mass are influential factors in muscle mass and bone mass of the skeleton of the growing child. SPSS package (SPSS v 19.0. Inc., Chicago, IL, USA) for personal computers was used for the statistical analysis. Significant differences were assumed when $p < 0.05$.

Results

Physical characteristics

Table 1 shows descriptive and body composition characteristics of the study sample. In prepuberal girls, footballers and control groups were similar in age and body composition variables. The peripuberal footballers were older than their pubertal-matched control group, showing also higher legs lean mass (LLM) (4.83 ± 0.16 kg vs. 4.51 ± 0.01 kg; all $p < 0.05$) than the control group. No statistical differences were found in any other variable.

Bone-related variables

Height-, body mass- and age adjusted BMC from the whole-body and hip scans are displayed in Table 2. The prepuberal footballers showed greater values of BMC at femoral neck than their sedentary counterparts (both $p < 0.05$). In the peripuberal girls, the footballers had higher values of BMC at pelvis, trochanter, Ward's triangle and whole body than the pubertal-matched control group (all $p < 0.05$).

Table 3 shows height-, body mass- and age adjusted BMD from the whole body and hip scans. In the prepuberal girls, higher values of femoral neck and intertrochanter BMD were found in footballers compared to controls (all $p < 0.05$). Peripuberal footballers had higher values of BMD at almost every site compared with the control group (all $p < 0.05$), except for the trochanter.

Discussion

The main finding of the present study is that peripuberal girls who practice football just 2 h/week present higher levels of BMC and BMD compared with their non-physically active counterparts controlling by age, height and body mass as possible confounders. These are already detectable at prepuberal stages although it seems to be clearer after growth spurt.

According to the results found in our study, football practice seems to be beneficial for the bone acquisition in girls during childhood and adolescence. Although osteogenic effect has been suggested for other sport modalities as found in other sports such as gymnastics and handball[25,26]; however, no studies have explored the benefits of football practice for bone in prepuberal and peripuberal girls who have three times higher risk to develop osteoporosis compared to male.

Similar results were found in males by other authors, who showed increases in bone mass on prepuberal [19] and adults [17] who practiced football. The same authors demonstrated also that football participation produce higher BMC and BMD accumulation during growth [18].

These results may be explained by the fact that this sport involves actions such as sprints, changes of direction, stops, jumps and kicks that offer an additional mechanical stress on lower limb bones due to higher ground reaction forces during these actions [17,27]. In fact, an excessive volume of exercise does not appear to be a determining factor in bone development, only three hours of football practice a week, provides important osteogenic effects in clinically relevant areas and sensitive to the onset of osteoporosis such as hip and its various sub-regions [18]. In our study we have seen in the case of girls with only two hours of football practice a week provides osteogenic effects. The results of our study suggest an osteogenic effect of football practice in prepuberal girls, focused on femoral neck BMC and BMD and inter-trochanter BMD, which are the most sensitive areas to the mechanical stress of the football actions [19]. Nonetheless, the strains generated by this sport may cause higher cortical bone expansion [14], increasing BMD [28], bone strength making the bones more resistant to fractures [29]. Longitudinal studies revealed that sport practice during prepubertal years helps to accumulate more mineral [30,18] because immature bones are more responsive to mechanical stress [31]. Furthermore, bones improvements obtained during growth stage are maintained throughout the life [32]. A growing number of studies in different sports support the hypothesis that half of bones adaptations observed in adults are already present in prepuberal stages [17,33] To our knowledge this is the first study to report beneficial effect on bone mass in prepuberal females football players.

In peripuberal stage, the differences between footballers and control group were more consistent, especially in BMD where almost all evaluated areas were significantly higher in the footballers (8-18%). The magnitude of the differences was higher than in the prepuberal groups. However, it is important to take into account that the time of exposure to the loading associated with football practice was 2.5 years in prepuberal girls and 4.3 years in the peripuberal footballers. The greatest differences between groups were observed in the hip zone, specifically in the femoral neck. It coincided with the results of similar studies that analyzed bone mass in adult and young female football players [34,35]. Trochanter BMC showed the highest percentage of variation (34%) among female footballers and non-physically active controls. The main reason for the

greater differences in BMC and BMD of the hip could be the compressive, shearing, and bending forces acting on this area during football participation [35].

Studies such as the one carried out by [36] showed that physical activity during childhood causes a positive effect on bone mass accumulation, and that it persists in adulthood. In our study, the differences were already present in prepuberal girls, but acquired greater magnitude during the peripuberal stage, agreeing with the conclusions of the study by [35] indicating that it is relevant to start practicing football at an early age and to maintain the exposure over the years. Several aspects such as exercise intensity, duration and loads seem to be of great importance to maintain the benefits produced by physical activity later in life [32]. In our research, 2 one hour weekly sessions and a match at the weekend was enough to show higher values of bone mass on prepuberal female footballers suggesting a level-up tendency with the increase in puberal development. For this reason, we agree with the statement made by Vicente-Rodriguez and colleagues [26] that analyzed children aged 12.5 and 17.5 years to establish that physical activity above 6 METs produces an increase in bone mass. This fact may be of great relevance in order to guarantee an optimal bone health through lifetime and prevent the risk of osteoporosis or osteoporotic fractures later in life.

Limitations and strength

Some limitations of this study deserve comment. Although we controlled for several potential confounders such as age, height and body mass, we cannot be certain that other unmeasured confounders such as diet or genetic variation, have not influenced our observations. The number of prepuberal girls could have been higher, but it was very difficult to find girls aged 8 to 10 years who were playing football.

On the other hand, the use of methods such a DXA for the evaluation of bone-related variables and the wide range of variables included in the analysis are strength points of the study. This research provides novel data in active girls during different stages of growth, showing the importance of acquiring a strong bone aiming to decrease the incidence of future diseases such as osteoporosis.

Conclusion

Pre and peripuberal female footballers exhibited higher BMC and BMD in relevant skeletal regions being more generalized and of high magnitude in peripuberal female. Therefore, it seems that football participation during childhood and adolescence may facilitate the acquisition of a higher bone mineral content and density during growth in females. Nevertheless, more studies are needed with girls who start playing football after puberty to determine the exact effect of exposure time.

Acknowledgements

Special thanks to the College football Foundation Rayo Vallecano to take part of this research, being available to allow us examine his players. Thanks to all my fellow IGOID group members for their help and work during the testing days.

Disclosures: No competing interests

References

1. Maimoun L, Sultan C (2011) Effects of physical activity on bone remodeling. *Metabolism* 60 (3):373-388
2. Vicente-Rodríguez G (2006) How does exercise affect bone development during growth? *Journal of Sports Medicine* 36 (7):561-569
3. Ross MH, Pawlina W (2009) *Histología : texto y atlas color con biología celular y molecular* 5edn. Panamericana, Buenos Aires
4. Gómez-Cabello A, Ara I, González-Agüero A, Casajús JA, Vicente-Rodríguez G (2012) Effects of training on bone mass in older adults: a systematic review. *Sports Medicine* 42 (4):301-325
5. Ferrández L, Herrera A (2006) *Fracturas osteoporóticas*. Medical & Marketing communications, Madrid
6. Nogués X, Guerri R, Solé E, Díez-Pérez A (2010) Impacto socioeconómico de la osteoporosis. *Osteoporosis y Metabolismo Mineral* 2 (3):2010
7. Mauck KF, Clarke BL (2006) Diagnosis, Screening, Prevention, and Treatment of Osteoporosis. *Mayo Clinic Proceedings* 81 (5):662-672
8. Bonjour JP, Theintz G, Buchs B, Slosman D, Rizzoli R (1991) Critical Years and Stages of Puberty for Spinal and Femoral Bone Mass Accumulation during Adolescence. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism* 73 (3):555-563
9. Cummings SR, Browner W, Black DM, Nevitt MC, Genant HK, Cauley J, Ensrud K, Scott J, Vogt TM (1993) Bone density at various sites for prediction of hip fractures. *The Lancet* 341 (8837):72-75
10. Bass S, Pearce G, Bradney M, Hendrich E, Delmas PD, Harding A, Seeman E (1998) Exercise before puberty may confer residual benefits in bone density in adulthood: Studies in active prepubertal and retired female gymnasts. *Journal of Bone & Mineral Research* 13 (3):500-507
11. Sharma SV, Hoelscher DM, Kelder SH, Diamond PM, Day RS, Hergenroeder AC (2009) A path analysis to identify the psychosocial factors influencing physical activity and bone health in middle-school girls. *Journal of Physical Activity and Health* 6:606-616
12. Vicente-Rodríguez G, Ara I, Perez-Gomez J, Dorado C, Calbet JAL (2005) Muscular development and physical activity as major determinants of femoral bone mass acquisition during growth. *British Journal of Sports Medicine* 39:611-616

13. Kannus P, Haapasalo H, Sankelo M, Sievanen H, Pasanen M, Heinonen A, Oja P, Vuori I (1995) Effect of Starting Age of Physical Activity on Bone Mass in the Dominant Arm of Tennis and Squash Players. *Annals of Internal Medicine* 123 (1):27-31
14. Kontulainen S, Kannus P, Haapasalo H, Sievänen H, Pasanen M, Heinonen A, Oja P, Vuori I (2001) Good maintenance of exercise-induced bone gain with decreased training of female tennis and squash players: A prospective 5-year follow-up study of young and old starters and controls. *Journal of Bone & Mineral Research* 16 (2):195-201
15. Lehtonen-Veromaa M, Mottonen T, Svedstrom E, Hakola P, Heinonen OJ, Viikari J (2000) Physical activity and bone mineral acquisition in peripubertal girls. *Scand J Med Sci Sports* 10:236-243
16. Gracia-Marco L, Moreno LA, Ortega FB, León F, Sioen I, Kafatos A, Martinez-Gomez D, Widhalm K, Castillo MJ, Vicente-Rodríguez G (2011) Levels of Physical Activity That Predict Optimal Bone Mass in Adolescents: The HELENA Study. *American Journal of Preventive Medicine* 40 (6):599-607
17. Calbet JAL, Dorado C, Díaz-Herrera P, Rodríguez-Rodríguez LP (2001) High femoral bone mineral content and density in male football (soccer) players. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 33 (10):1682-1687
18. Vicente-Rodríguez G, Ara I, Pérez-Gómez J, Serrano-Sánchez JA, Dorado C, Calbet JAL (2004) High femoral bone mineral density accretion in prepubertal soccer players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*:1789-1795
19. Vicente-Rodríguez G, Ara-Royo I, Dorado-García C, Pérez-Gómez J, Calbet JAL (2003) Actividad Física y Masa Ósea en niños y niñas prepúberes *Archivos de Medicina del Deporte* 20 (93):52-58
20. Zouch M, Jaffré C, Thomas T, Frère D, Courteix D, Vico L, Alexandre C (2008) Long-term soccer practice increases bone mineral content gain in prepubescent boys. *Joint Bone Spine* 75 (1):41-49
21. Tanner JM, Whitehouse RH, Hughes PCR, B.S C (1976) Relative importance of growth hormone and sex steroids for the growth at puberty of trunk length, limb length, and muscle width in growth hormone-deficient children. *The Journal of Pediatrics* 89 (6):1000-1008
22. Ara I, Vicente-Rodríguez G, Pérez-Gómez J, Jiménez-Ramírez J, Serrano-Sánchez JA, Dorado C, Calbet JAL (2006) Influence of extracurricular sport activities on body

composition and physical fitness in boys: a 3-year longitudinal study. *International Journal of Obesity* 30:1062–1071

23. Faulkner RA, Bailey DA, Drinkwater DT, McKay HA, Arnold C, Wilkinson AA (1996) Bone densitometry in Canadian children 8–17 Years of Age Calcified Tissue *International* 59 (5):344-351

24. Slemenda CW, Miller JZ, Hui SL, Reister TK, Johnston CC (1991) Role of physical activity in the development of skeletal mass in children. *Journal of Bone and Mineral Research* 6 (11):1227-1233

25. Vicente-Rodríguez G, Dorado C, Ara I, Perez-Gomez J, Olmedillas H, Delgado-Guerra S, Calbet JAL (2007) Artistic Versus Rhythmic Gymnastics: Effects on Bone and Muscle Mass in Young Girls. *International Journal of Sports Medicine* 28 (5):386-393

26. Vicente-Rodríguez G, Dorado C, Perez-Gomez J, Gonzalez-Henriquez JJ, Calbet JAL (2004) Enhanced bone mass and physical fitness in young female handball players. *Bone* 35 (5):1208-1215

27. Freychat P, Belli A, Carret JP, Lacour JR (1996) Relationship between rearfoot and forefoot orientation and ground reaction forces during running. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 28:225-232

28. Bradney M, Pearce G, Naughton G, Sullivan C, Bass S, Beck T, Carlson J, Seeman E (1998) Moderate Exercise During Growth in Prepubertal Boys: Changes in Bone Mass, Size, Volumetric Density, and Bone Strength: A Controlled Prospective Study. *Journal of Bone and Mineral Research* 13 (12):1814-1821.

29. Schoenau E (1998) Bone Mass Increase in Puberty: What Makes It Happen? *Hormone Research in Paediatrics* 65:2-10

30. MacKelvie KJ, McKay HA, Khan KM, Crocker PRE (2001) A school-based exercise intervention augments bone mineral accrual in early pubertal girls. *The Journal of Pediatrics* 139 (4):501-508.

31. Vicente-Rodríguez G, Jimenez-Ramirez J, Ara I, Serrano-Sanchez JA, Dorado C, Calbet JAL (2003) Enhanced bone mass and physical fitness in prepubescent footballers. *Bone* 33:853-859

32. Modlesky CM, Lewis RD (2002) Does exercise during growth have a long-term effect on bone health? *Exercise and Sports Sciences Reviews* 30:171-176

33. Nickols-Richardson SM, Modlesky CM, O'Connor PJ, Lewis DL (2000) Premenarcheal gymnasts possess higher bone mineral density than controls. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 32 (1):63-69
34. Alfredson H, Nordstrom P, Lorentzon R (1996) Total and regional bone mass in female soccer players. *Calcified Tissue International* 59:438-442
35. Söderman K, Bergström E, Lorentzon R, Alfredson H (2000) Bone Mass and Muscle Strength in Young Female Soccer Players. *Calcified Tissue International* 67 (4):297-303
36. Baxter-Jones ADG, Kontulainen SA, Faulkner RA, Bailey DA (2008) A longitudinal study of the relationship of physical activity to bone mineral accrual from adolescence to young adulthood. *Bone* 43 (6):1101-1107

Table 1. Subjects' Descriptive characteristics of the participants (mean \pm SD).

	Prepuberal footballers (n=10)		Prepuberal control (n=10)		Peripuberal footballers (n=30)		Peripuberal control (n=15)	
Tanner	I-II		I-II		III-IV		III-IV	
Age (year)	8.20	\pm 0.13	9.70	\pm 0.15	11.73 [#]	\pm 0.11	10.93	\pm 0.18
BMI (kg/m ²)	16.76	\pm 0.72	17.52	\pm 0.73	18.28	\pm 0.58	17.79	\pm 0.75
Body mass (kg)	30.55	\pm 1.79	34.55	\pm 1.99	42.15	\pm 1.75	40.39	\pm 2.02
Height (cm)	134.77	\pm 2.19	140.02	\pm 1.72	151.15	\pm 1.43	150.52	\pm 1.32
% BF	27.19	\pm 1.90	31.01	\pm 1.88	27.35	\pm 0.87	27.69	\pm 1.95
TFM (kg)	8.37	\pm 0.95	10.90	\pm 1.10	11.74	\pm 0.78	11.53	\pm 1.35
TrFM (kg)	3.14	\pm 0.41	4.41	\pm 0.58	4.49	\pm 0.37	4.46	\pm 0.67
TLM (kg)	20.89	\pm 1.96	22.73	\pm 1.40	28.77	\pm 0.93	27.12	\pm 3.10
LLM (kg)	3.33	\pm 0.21	3.36	\pm 0.45	4.83 [#]	\pm 0.16	4.51	\pm 0.14

Body mass index (BMI); Percentage of body fat (%BF); Total fat mass (TFM); Trunk fat mass (TrFM); Total lean mass (TLM); Legs lean mass (LLM);*prepuberal footballers vs prepuberal control [#]peripuberal footballers vs peripuberal control. $p < 0.05$.

Table 2. Height-, body mass-, and - age adjusted bone mineral content (BMC) from the whole body and hip scans (mean \pm SD).

	BMC (g)							
	Prepuberal footballers		Prepuberal control		Peripuberal footballers		Peripuberal control	
Whole-body scan								
Head	298.21	\pm 11.37	313.46	\pm 15.63	340.55	\pm 11.59	311.09	\pm 10.11
Pelvic	112.65	\pm 5.60	104.18	\pm 3.61	169.82 [#]	\pm 7.33	132.04	\pm 4.19
Arms (mean)	49.37	\pm 2.72	50.90	\pm 5.91	76.09	\pm 3.05	66.63	\pm 2.66
Legs (mean)	186.32	\pm 10.17	236.01	\pm 7.63	274.52	\pm 8.93	230.82	\pm 8.66
Total	1099.29	\pm 31.70	1009.19	\pm 34.59	1436.61 [#]	\pm 19.55	1237.29	\pm 30.09
Hip								
Femoral neck	2.78 [*]	\pm 0.15	2.57	\pm 0.12	3.51	\pm 0.09	2.85	\pm 0.33
Trochanter	4.80	\pm 0.24	3.92	\pm 0.16	6.74 [#]	\pm 0.29	4.45	\pm 0.19
Intertrochanter	12.88	\pm 0.82	11.72	\pm 0.51	14.00	\pm 0.68	13.89	\pm 0.91
Ward's triangle	0.99	\pm 0.02	0.81	\pm 0.03	0.91 [#]	\pm 0.02	0.73	\pm 0.02
Total	19.75	\pm 1.02	19.12	\pm 0.96	24.01	\pm 0.81	23.12	\pm 0.86

*prepuberal footballers vs prepuberal control [#]peripuberal footballers vs peripuberal control. $p < 0.05$.

Table 3. Height-, body mass- and -age adjusted bone mineral density (BMD) from the whole-body and hip scans (mean \pm SD).

	BMD (g.cm ⁻²)			
	Prepuberal footballers	Prepuberal control	Peripuberal footballers	Peripuberal control
Whole-body scan				
Head	1.43 \pm 0.04	1.46 \pm 0.58	1.60 [#] \pm 0.39	1.41 \pm 0.02
Pelvic	0.78 \pm 0.02	0.81 \pm 0.01	0.97 [#] \pm 0.02	0.84 \pm 0.02
Arms (mean)	0.49 \pm 0.01	0.46 \pm 0.05	0.60 [#] \pm 0.01	0.55 \pm 0.10
Legs (mean)	0.78 \pm 0.02	0.75 \pm 0.08	0.97 [#] \pm 0.01	0.89 \pm 0.01
Total	0.82 \pm 0.02	0.79 \pm 0.02	0.93 [#] \pm 0.01	0.83 \pm 0.01
Hip				
Femoral neck	0.70* \pm 0.02	0.66 \pm 0.01	0.77 [#] \pm 0.14	0.63 \pm 0.49
Trochanter	0.68 \pm 0.01	0.68 \pm 0.01	0.73 \pm 0.01	0.73 \pm 0.04
Intertrochanter	0.87* \pm 0.02	0.80 \pm 0.01	0.97 [#] \pm 0.01	0.81 \pm 0.03
Ward's triangle	0.78 \pm 0.06	0.67 \pm 0.02	0.75 [#] \pm 0.02	0.65 \pm 0.03
Total	0.85 \pm 0.02	0.83 \pm 0.02	0.84 [#] \pm 0.02	0.73 \pm 0.02

*prepuberal footballers vs prepuberal control [#]peripuberal footballers vs peripuberal control. $p < 0.05$.

ANEXO 9. Artículo 3

INFLUENCE OF PLAYING FOOTBALL IN HARD VS SOFT GROUND SURFACES ON BONE ACCRETION IN PREPUBERTAL CHILDREN AFTER 24 MONTHS FOLLOW UP.

Plaza-Carmona, M.¹; Vicente-Rodríguez, G.²; Gómez-Cabello, A.^{2,3}; Martín-García, M.⁵; Sánchez-Sánchez J.⁴; García-Unanue, J.¹; Ubago-Guisado, E.¹; Gallardo, L.¹; Ara, I.⁵

¹IGOID Research Group, University of Castilla-La Mancha, Spain

²GENUD “Growth, Exercise, Nutrition and Development” Research Group. Universidad de Zaragoza, Spain.

³Centro Universitario de la Defensa, Zaragoza, Spain

⁴Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte, UCAM Universidad Católica San Antonio de Murcia, Spain

⁵GENUD Toledo Research Group, University of Castilla-La Mancha, Spain

Running title:

Correspondence address

María Plaza Carmona

IGOID Toledo Research Group

Avda. Carlos III s/n

45071 Toledo (Spain)

Phone: +34 659 01 68 54

Fax: 925 268 846

Email: maria.plazacarmona@gmail.com

Abstract

Introduction: Numerous studies examine the effects of physical activity on bone mass, but there are few studies that analyze these effects depending on the playing surface. Therefore, the main aim of this study is to evaluate the influences of football practice on hard and soft ground in prepuberal children.

Material & methods: A total of 82 prepuberal children were studied over 24 months. They were divided into soft ground (SG, n=54), hard ground group (HG, n=13) and control group (CON, n=15). Pubertal status assessment was determined by Tanner test. BMC and BMD of the whole-body and hip were determined by DXA.

Results: Longitudinal study revealed how the SG group showed significant differences in all BMC and BMD variables after 24 months. The HG showed differences in all variables of BMC except in the femoral neck and Ward's Triangle BMC. As for BMD only present significant differences in mean arms, legs and pelvis. The CON indicated differences in all variables except in the BMC Ward's triangle, trochanter BMD and Ward's triangle BMD. SG group also showed higher values in the majority of BMC and BMD variables compared to HG and CON ($p<0.05$). Finally the group by time interaction revealed as differences existed in all BMC variables less femoral neck and Ward's triangle, and the BMD only showed significant results in the mean of arms, legs and pelvis.

Conclusion: Children who play football on soft surface have obtained greater gains in bone mass compared with the children who play on hard surface.

Keywords: Bone mineral density, DXA, exercise, bone, children, turf.

Introduction

Obtaining a good bone mass during childhood is a key factor to get strong bones in adulthood and prevent the onset of various diseases like osteoporosis [1,2]. In this regard, it should be noted the importance of physical activity in the lifestyle of children, reducing sedentary behaviors such as watching television that dominate today [3,4]. The end of childhood and adolescence is a critical period for the development of behaviors that increase bone mass [5]. This is the period in which the bone grows faster, accumulating 40% of their total bone mass [6].

Bone mass can be influenced by both non-modifiable and modifiable factors. Although genetic seems to be the most important factor [7], nutrition and physical activity also play a key role in the acquisition of higher bone mass [8].

The bones of children are able to adapt to the mechanical load exerted on them, producing a stress adaptation that strengthen them [9]. Low-impact exercises, such as walking or climbing stairs are sufficient to increase bone mineral density (BMD) [10]. Recent studies have shown how sports that involve own body load and have sudden changes in speed, turns or impact situations are associated with greater acquisition of bone mineral content (BMC) [11].

In this sense, football is characterized by quick movements as running or changes in direction. These actions produce high loads of mechanical stress on the bones of the lower extremities due to the reaction forces from the field to the player [12,13]. For this reason, football can become a good stage for the development of bone mass in prepubertal children [14-16].

Long-term football participation, starting at prepubertal age, is associated with markedly increased BMC and BMD at the femoral neck and lumbar spine regions [14]. Previous studies have shown that levels of force reduction in different sports surfaces where football is practiced, influence bone development in children [17].

The percentage of force reduction, which results from the field test, is an indicator of the protective function of the playing surface [18,19]. The interaction between participants and the field surfaces results in different energy restitution (ER) depending on the kind of surface where they play (hard or soft ground). The ER is usually inversely associated with the force reduction of sports flooring [20]. In other words, high force reduction causes a re-

duced energy restitution and vice versa. This fact may be related to the development of bone mass [21].

The vertical deformation represents the stability of the sport athletes on the surface, and in this sense, is considered by several authors as an indicator of protection and comfort [21,19,20].

Therefore, the aim of this study is to assess the development of bone mass and density in prepubertal children who play football on soft and hard surfaces, in order to establish what type of surface produces a greater osteogenic effect after twenty-four months evaluation.

Materials and methods

Participants

Eighty-two prepubertal children (Tanner ≤ 2) aged 8-10 years participated in the study. All were recruited from different schools and football clubs of the province of Castilla-La Mancha (Spain). Children and their parents were invited to participate in the study from January 2011 to February 2013.

The participants were assigned to three different groups depending on their physical activity patterns and the type of surface in which they trained: hard ground group (HG, n=13), artificial turf soft ground group (SG, n=54) and control group (CON, n=15). All footballers trained in these surfaces twice a week for 1 hour. In addition, all players had a competitive match every weekend. Other fifteen participants formed the control group, whose physical activities were limited to those included in the compulsory physical education curriculum (two weekly sessions of fifty min each).

Both parents and participants were informed about the aims and procedures of the project. The study included three evaluations with a total follow-up of twenty four months [22]. Children gave their verbal assent and written informed consent was obtained from their parents. Then, all participants answered a medical and physical activity questionnaire. This questionnaire included the following dimensions: sociodemographic information, lifestyle (transport to school), information about their physical activity (type of surface where they played) and bone disease or medication affecting bone development.

The study was approved by the Ethical Committee of Clinical Research (CEIC 13/10) and

it was performed according to the Declaration of Helsinki on the basis of ethical principles for medical research involving human described in it.

Pubertal development

The pubertal status of the subjects was determined by self-assessment through the Tanner Test. This test is a method of recognized validity and reliability [22] and has been used in different studies related to bone accretion and sports practice [23,24]. The test was passed individually, and when the status given for the children was higher than normal for their age, the information was also contrasted with the assessment of their parents.

Bone and lean masses

The bone mass, lean mass and fat mass (body mass- [fat mass + bone mass]) were measured using dual-energy X-ray absorciometry (DXA) (Hologic Serie Discovery QDR, Software Physician's Viewer, APEX System Software Version 3.1.2. Bedford, MA, USA). The equipment was calibrated at each test session using a lumbar spine phantom and following the manufacturer's instructions. Subjects were scanned in supine position and the scans were performed at high resolution.

Characterization of the football playing surfaces

Six football fields in the study, with five artificial turf (Field 1 “Anexo Pedro Escartin”, Field 2 “Agustín de la Fuente”, Field 3 “Marqueses de Manzanedo”, Field 4 “Municipal de Deportes de Illecas”, Field 5 “Anexo San Miguel-Fútbol 7”) and one soil (Municipal de Lillo).

The initial assessment of the mechanical properties of the selected systems of artificial turf was carried out according to the quality standards presented in the EN 15330-1:2007 norm. The vertical deformation (mm), force reduction (%) and energy restitution (%), were tested in situ on the five positions required by the regulations. All the tests were carried out under stable and dry meteorological conditions, with a temperature between 10°C-21°C and a wind speed between 0.0 m/s-0.3 m/s by the EN 15330-1:2007 protocol for football. This procedure was repeated twenty-four months after the initial assessment, obtaining the degree of actual deterioration of the mechanical properties of the structures.

The vertical deformation was calculated with a test kit known as Triple A (Advanced Artificial Athlete). The Triple A has displacement sensors in the bottom of the machine to measure the displacement applied by the mass when it is dropped (EN 14809:2005). Spe-

cifically, a mass of 20 Kg was dropped from a height of 55 mm (± 0.25 mm), which utilized a spring with controlled stiffness.

To assess the force reduction and energy restitution we have used the same instrument (Triple A). In this procedure, a mass is dropped from a known height determined, using a spring of stiffness controlled to simulate the damping effect of the ankle or knee joints (EN 14808:2005). When this mass hits the pavement, the maximum force applied by the signal from a load cell is recorded, since this value is computed force reduction taking the maximum force obtained as a concrete pavement. This value is transmitted through a DAD-Case (Data Acquisition Device Case) and transferred to a portable unit with the G-Force v.3.03 software (Deltecmetaal, Duiven, Holland).

Statistical analysis

Mean and standard deviation (SD) are presented as descriptive statistics. All variables included in the present study showed normal distributions. Analysis of variance was used to establish the differences between groups. The differences in bone and lean masses between the two groups were performed using analysis of covariance (ANCOVA) with further Bonferroni post-hoc test, using as covariates age, weight, height, Tanner and years of sport participation. Finally, we calculated the percentage of change in each of the variables for different groups. All data was analysed using SPSS software for Windows (SPSS v 19.0. Inc., Chicago, IL, USA). The level of significance was $p < 0.05$.

Results

Physical characteristics

During the twenty four month study period there were in total eighty-two participants. Descriptive characteristics of the participants are summarized in Table 1. The HG group showed 8.27 points of body mass and a 3.61 points in total fat mass (TFM) higher compared with the SG in the first evaluation (pre). The CON showed higher values in the same variables and percentage of fat mass (% FM) compared with SG. Similar results were obtained in the second shot, where values were significantly higher in the HG and CON. In the percent changes were obtained significant differences only in the total lean mass (TLM), the percent changes in the HG was higher compared to the other two groups.

Bone-related variables

Table 2 and Table 3 show the adjusted values of BMC (g) and BMD ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$) from the whole-body and hip scans. There was a tendency of lower BMC and BMD in the SG, for all values of each of the regions analyzed in comparison with the other groups.

The SG group showed a significant increase of BMC at both, whole body and hip, from pre to post evaluations (all $p < 0.01$). The HG and CON showed significant increases in BMC in most variables except the femoral neck in the HG and Ward's triangle in both of them.

All groups showed significant differences in all variables analyzed in BMD, except for the HG in different regions of the hip (intertrochanteric zone, femoral neck, trochanter and ward's triangle) and the CON in the trochanter and Ward's triangle.

No differences were found between HG and CON in the BMC and BMD except for the BMC pelvis in the post evaluation where there are significant differences between the two, higher values obtained in the HG. However, there are significant differences in many variables (mean legs BMC and BMD, mean arms BMC, pelvis BMC and BMD, total BMC, femoral neck BMC and BMD, trochanter BMC and BMD, intertrochanteric zone BMC) to compare the SG group with HG.

There was a group by time interaction in most variables of BMC (all $p < 0.01$, except femoral neck and Ward's triangle). At BMD variables, only a group by time interaction was found at mean arms, mean legs and pelvis (all $p < 0.01$).

Finally, Figure 1 shows the percentage of change of BMC and BMD at pre and post evaluations for whole body and hip. In the scanner body only significant differences were observed to compare the SG group with HG in the total BMC, pelvis BMD y mean legs BMD. The results of the hip showed as differences in all variables, being significantly better the SG compared to the other groups.

Characteristics of the football grounds

Data from the various tests that were conducted to the football grounds are shown in Table 4. No significant differences were found in the grounds between the pre and post, showing similar values in different years.

There were significant differences in the three variables examined between the sport surfaces. The mean of the values of the SG fields was significantly higher in the vertical deformation (SG 5.60 ± 0.61 mm and HG 0.20 ± 0.82 mm in PRE, all $p < 0.05$) ; SG 4.75 ± 0.41 mm and HG 0.21 ± 0.80 mm in POST, all $p < 0.05$) and force reduction (SG 60.50 ± 2.91 % and HG 21.90 ± 1.61 % in PRE, all $p < 0.05$; SG 60.28 ± 2.04 % and HG 21.40 ± 1.43 % in POST, all $p < 0.05$) . However, in the energy restitution, soft ground obtained lower values.

Discussion

This is the first longitudinal study that evaluates the football practice on artificial turf and soil in relation to bone mass. The aim of this study is to assess the development of bone mineral mass in prepubertal children who play football on soft and hard surfaces.

The main finding in our study shows that children playing football on soft ground (artificial turf) develop increased bone mass compared with children playing on hard ground. Moreover, prepubertal footballers have less total fat mass and percentage fat mass than sedentary group.

Bone mass and field surface

The benefits derived from the practice of physical activity on bone mass [25] and more specifically of football practice are well documented in both children and adults [14,25,16,26]. We observed a clear correlation between physical activity and increased

BMD in different body regions that may be influenced by the type of activity, hours of practice, pitch, etc.

Previous studies showed that football players who started participating in football during the prepubertal stage have between 13 and 24% higher BMD at different regions compared with those who do not practice any sports [14]. In children, 30% of peak BMD is accrued in the 3 years surrounding puberty, and the regular activity during these years it is essential for development. In the adolescence the active boys and girls achieved 9% and 17% greater total body BMD [7]. This is because the bone growing in children is more sensitive to mechanical stress that occurs when performing jumps or runs and turns [27] and helps to accumulate more mineral [16,28]. In this sense we can see in the whole body scan as the group SG obtained increased bone mass after twenty-four months of follow-up of practice compared to the control group in the areas of the pelvis BMD and mean BMD legs.

In football, the lower extremities are the most active, so this can be related with greater gains in bone mass in this area. Longitudinal studies revealed that the hip region is the area where there are more profits through physical activity. The area of the femur shows great sensitivity to mechanical stress caused by the actions of football, showing up to a 7% increase in BMD in the femoral head [29]. Gunter et al.[9] implemented an intervention program for seven months by jumping, getting a 3.6% increase in BMD at the hip hop group compared to others groups. Similarly, our study has obtained the greatest gains in bone mass in the hip region after twenty-four months of follow-up. The group who play on SG obtained a significantly greater percentage of change in all regions analyzed of the hip for BMC and BMD.

By analyzing muscle mass and fat mass differences between study groups were also appreciated. Prepubertal footballers have less total fat mass and percentage fat mass than sedentary group. Recently, it has been demonstrated that the association between FM and bone was totally explained by the higher lean mass needed to support the FM [30]. This maybe explain the higher levels of bone mass in HG and CON in the first evaluation.

The benefits on bone mass obtained from the sport are related to the volume of exercise. However, there are sports that presenting less training volume obtained similar results. This study shows that children who play football on soft ground with low training loads, twice a week for 1 hour, increase in bone mass, while in another study was found lower osteogenic improvements in gymnasts that trained 2-3 hours a day [31]. At school level

was performed a intervention program as a moderate to vigorous intensity for at least five years are obtained improvements in bone mass [32], our CON despite not making an intervention of moderate to vigorous intensity is observed as significant improvements in bone mass during the study period, only the compulsory physical education curriculum (two weekly sessions of fifty min each). It is therefore important to assess aspects such as the playing surface that can influence the development of increased bone mass.

Football is a sport in which due to its technical characteristics, the player is subjected to a strong interaction with the surface. The type of surface on which sport is practiced is a factor that can influence the bone mass of the athlete [33,34]. A high energy restitution makes football player need more effort to jump or change direction. It is therefore an increased energy expenditure and increased fatigue [35]. Cross-sectional study has shown that soccer practice may provide an osteogenic effect on bone mass accumulation in prepubertal children, irrespective of the surface on which it is practiced [17]. However, the data obtained in our study reveal osteogenic different effects depending on the playing surface on which it is practiced. The SG showed greater gains in bone mass compared with HG in prepubertal footballers, despite HG showed higher energy restitution levels compared and lower force reduction and vertical deformation coinciding with similar studies [17].

The present results suggest that children who play football on soft ground develop increased bone mass compared with children playing on hard ground. Therefore, the playing surface is a variable that may influence in the acquisition of bone mass during growth.

This study was carried out in situ on installing systems of artificial turf, which has allowed us to assess the performance and real deterioration of the mechanical properties of the surface. A similar short-term study [36] carried out during the first year of installation of six fields of artificial turf demonstrated high variation percentages. Therefore, it would be interesting to evaluate fields characteristics as time passes, to see if its wear influences bone mass.

Conclusions

Children who play football on soft ground have obtained greater gains in bone mass compared with children who play on hard ground and their nonactive counterparts after twenty-four months of practice in this surfaces.

Acknowledgement

We thank the coaches and players for participating in the study. Financial support for this study was received from Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha PEII 10-0111-8071

Disclosure of interest

The authors declare than they have no conflicts of interest concerning this article.

References

1. Maimoun L, Sultan C (2011) Effects of physical activity on bone remodeling. *Metabolism* 60 (3):373-388. doi:10.1016/j.metabol.2010.03.001
2. Rizzoli R, Bianchi ML, Garabédianc M, McKayd HA, Morenoe LA (2010) Maximizing bone mineral mass gain during growth for the prevention of fractures in the adolescents and the elderly. *Bone* 46 (2):294–305
3. Gracia-Marco L, Rey-López JP, Santaliestra-Pasías AM, Jiménez-Pavón D, Díaz LE, Moreno LA, Vicente-Rodríguez G (2012) Sedentary behaviours and its association with bone mass in adolescents: the HELENA cross-sectional study. *BMC Public Health* 971
4. Vicente-Rodríguez G, Ortega FB, Rey-López JP, España-Romero V, Blay VA, Blay G (2009) Extracurricular physical activity participation modifies the association between high TV watching and low bone mass. *Bone* 45:925–930
5. Sharma SV, Hoelscher DM, Kelder SH, Diamond PM, Day RS, Hergenroeder AC (2009) A path analysis to identify the psychosocial factors influencing physical activity and bone health in middle-school girls. *Journal of Physical Activity and Health* 6:606-616
6. Bonjour JP, Theintz G, Buchs B, Slosman D, Rizzoli R (1991) Critical Years and Stages of Puberty for Spinal and Femoral Bone Mass Accumulation during Adolescence. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism* 73 (3):555-563
7. Markou KB, Theodoropoulou A, Tsekouras A, Vagenakis AG, Georgopoulos NA (2010) Bone acquisition during adolescence in athletes. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1205 (1):12-16

8. Vivanco-Muñoz N, Reyes-Sánchez M, Lazcano E, Díaz R, Antúnez O, Clark P (2012) Physical activity is a prognostic factor for bone mineral density in Mexican children. *Boletín médico del Hospital Infantil de México* 69:40-45
9. Gunter K, Baxter-Jones ADG, Mirwald RL, Almstedt H, Fuchs RK, Durski S, Snow C (2008) Impact Exercise Increases BMC During Growth: An 8-Year Longitudinal Study. *Journal of Bone and Mineral Research* 23 (7):986-993
10. Martyn-St James M, Carroll S (2008) A meta-analysis of impact exercise on postmenopausal bone loss: the case for mixed loading exercise programmes. *British Journal of Sports Medicine* 43:898-908
11. Moreno LA, Gracia-Marco L (2012) Prevención de la obesidad desde la actividad física: del discurso teórico a la práctica. *Anales de Pediatría* 77 (2):136–136
12. Duppe H, Gardsell P, Johnell O, Ornstein E (1996) Bone mineral density in female junior, senior and former football players. *Osteoporosis international* 6:437-441
13. Fuchs RK, Snow CM (2002) Gains in hip bone mass from high-impact training are maintained: A randomized controlled trial in children. *The Journal of pediatrics* 141 (3):357-362
14. Calbet JAL, Dorado C, Díaz-Herrera P, Rodríguez-Rodríguez LP (2001) High femoral bone mineral content and density in male football (soccer) players. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 33 (10):1682-1687
15. Zouch M, Jaffré C, Thomas T, Frère D, Courteix D, Vico L, Alexandre C (2008) Long-term soccer practice increases bone mineral content gain in prepubescent boys. *Joint Bone Spine* 75 (1):41-49
16. Vicente-Rodríguez G, Jimenez-Ramirez J, Ara I, Serrano-Sanchez JA, Dorado C, Calbet JAL (2003) Enhanced bone mass and physical fitness in prepubescent footballers. *Bone* 33:853-859
17. Plaza-Carmona M, Vicente-Rodríguez G, Martín-García M, Burillo P, Felipe JL, Mata E, Casajús JA, Gallardo L, Ara I (2013) Influence of hard vs. soft ground surfaces on bone accretion in prepubertal footballers. *Int J Sports Med* 35 (1):55-61
18. Alcántara E, Gámez J, Rosa D, Sanchís M (2009) Analysis of the influence of rubber infill morphology on the mechanical performance of artificial turf surfaces for soccer. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology* 223 (1):1-9

19. Rosa D (2009) Aspectos biomecánicos de los pavimentos deportivos. Hierba artificial. III Curso de Experto Universitario en Gestión del Césped Deportivo Natural y Artificial. Fundación RFEF y UCLM, Las Rozas
20. Rosa D, Sanchís M, Alcántara E, Zamora T (2007) Avances en el estudio de campos de hierba artificial, aportaciones biomecánicas. In: Pérez P, Llana S (eds) Biomecánica aplicada a la actividad física y al deporte. Ayuntamiento de Valencia, Valencia, pp 405-429
21. Burillo P, Felipe JL, Gallardo A, Gallardo L, Sanchis M, Pérez V, Gude R, Rosa D (2010) El césped artificial. La revolución del pavimento en el fútbol. Instituto de Biomecánica de Valencia,
22. Duke PM, Litt IF, Gross RT (1980) Adolescents' self assessment of sexual maturation. *J Pediatr* 66:918-920
23. Hind K, Burrows M (2007) Weight-bearing exercise and bone mineral accrual in children and adolescents: A review of controlled trials. *Bone* 40:14-27
24. Vicente-Rodríguez G, Ara I, Pérez-Gómez J, Serrano-Sánchez JA, Dorado C, Calbet JAL (2004) High femoral bone mineral density accretion in prepubertal soccer players. *Med Sci Sports Exerc*:1789-1795
25. Kelley GA, Kelley KS, Kohrt WM (2013) Exercise and bone mineral density in men: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Bone* 53 (1):103-111
26. Vicente-Rodríguez G, Ara I, Dorado C, Pérez J, Calbet J (2003) Actividad Física y masa ósea en niños y niñas prepúberes. *Archivos de Medicina del Deporte* 20 (93):52-58
27. Banfi G, Lombardi G, Colombini A, Lippi G (2010) Bone metabolism markers in sports medicine. *J Sports Med* 40 (8):697-714
28. MacKelvie KJ, McKay HA, Khan KM, Crocker PRE (2001) A school-based exercise intervention augments bone mineral accrual in early pubertal girls. *J Pediatr* 139 (4):501-508
29. Vicente-Rodríguez G (2006) How does exercise affect bone development during growth? *J Sports Med* 36 (7):561-569
30. Gracia-Marco L, Moreno LA, Ortega FB, León F, Sioen I, Kafatos A, Martinez-Gomez D, Widhalm K, Castillo MJ, Vicente-Rodríguez G (2011) Levels of Physical Activity That Predict Optimal Bone Mass in Adolescents: The HELENA Study. *Am J Prev Med* 40 (6):599-607

31. Lehtonen-Veromaa M, Mottonen T, Svedstrom E, Hakola P, Heinonen OJ, Viikari J (2000) Physical activity and bone mineral acquisition in peripubertal girls. *Scand J Med Sci Sports* 10:236-243
32. Detter FL, Rosengren B, Dencker M, Nilsson JÅ, Karlsson M (2013) A 5-Year Exercise Program in Pre- and Peripubertal Children Improves Bone Mass and Bone Size Without Affecting Fracture Risk. *Calcif Tissue Int* 92 (4):385-393
33. Hinrichs T, Chae E, Lehmann R, Allolio B, Platen P (2010) Bone mineral density in athletes of different disciplines: a cross-sectional study. *Open Sports Sci J* 3:129 - 133
34. Weidauer LA, Eilers, M. M., Binkley, T. L., Vukovich, M. D., & Specker, B. L. (2012) Effect of different collegiate sports on cortical bone in the tibia. *J Musculoskelet Neuronal Interact* 12 (2):68-73
35. Rutherford O (1999) Is there a role for exercise in the prevention of osteoporotic fractures? *Br J Sports Med* 33:378-386
36. Joosten T (2003) Players' experiences of artificial turf. *Stadia Turf Summit*

Table 1. Descriptive characteristics at pre and post evaluations for every group.

Variables	PRE			POST			% Change		
	Soft Ground (n=54)	Hard Ground (n=13)	Controls (n=15)	Soft Ground (n=54)	Hard Ground (n=13)	Controls (n=15)	Soft Ground	Hard Ground	Controls
Tanner	I-II	I-II	I-II	II-III	II-III	II-III			
Age (years)	8.07 ± 0.82	9.62* ± 0.65	9.20# ± 0.77	10.07 ± 0.82	11.62* ± 0.65	11.13# ± 0.74	24.7	20.7	20.9
Body mass (kg)	30.08 ± 5.95	38.35* ± 7.55	37.65# ± 11.21	37.06 ± 8.1	45.37* ± 8.75	45.85# ± 13.40	23.2	18.3	21.7
Height (cm)	131.98 ± 6.27	141.72 ± 8.73	139.97 ± 8.63	141.79 ± 7.07	151.98 ± 11.35	148.79 ± 8.77	7.4	7.2	6.3
BMI (kg/m ²)	17.18 ± 2.33	18.96 ± 2.54	18.89 ± 4.30	18.33 ± 2.80	19.54 ± 2.80	20.46# ± 4.86	6.6	3.0	8.3
% FM	26.03 ± 5.70	29.43 ± 7.57	32.08# ± 6.48	23.32 ± 6.65	24.78 ± 7.48	29.15# ± 8.47	-10.4	-15.8	-9.1
TLM (kg)	20.51 ± 3.10	23.60 ± 7.45	23.33 ± 4.93	26.09 ± 3.90	31.75* ± 7.17	29.41 ± 5.53	27.2	34.5*†	26.0
TFM (kg)	7.78 ± 3.50	11.39* ± 4.27	12.40# ± 5.70	8.81 ± 4.43	11.00 ± 4.04	13.92# ± 7.91	13.2	-3.4	12.2

Body mass index (BMI), Total lean mass (TLM), Total fat mass (TFM).

Soft Ground vs. Controls

* Hard Ground vs. Soft Ground

† Hard Ground vs. Controls

Table 2. Evolution of bone mineral content at the whole body and hip. Analysis adjusted for age, weight, height, tanner and years playing.

Variable	BMC (g)														Group by time interaction P
	SG			P	HG			CON			P				
	PRE	POST	PRE		POST	PRE	POST								
Whole-body scan															
Mean arms	49.92 ± 5.86	63.23 ± 6.47	<0.001	59.65* ± 4.45	78.79* ± 5.52	<0.001	56.12 ± 11.87	69.55 ± 12.65	<0.001						
Pelvis	106.64 ± 19.91	123.95 ± 18.59	<0.001	117.29 ± 19.72	148.16*† ± 23.18	<0.001	103.34 ± 19.56	117.33 ± 18.78	0.005						
Mean legs	168.05 ± 19.43	202.05 ± 29.92	<0.001	215.00* ± 21.86	266.25* ± 22.42	<0.001	195.64 ± 29.06	236.93 ± 26.98	<0.001						
Total	681.36 ± 79.44	1218.80 ± 125.66	<0.001	816.39* ± 75.75	1390.64 ± 91.17	<0.001	760.27 ± 137.45	1252.82 ± 355.64	<0.001						
Hip															
Femoral neck	1.65 ± 1.49	2.89 ± 0.90	<0.001	3.33* ± 0.63	3.49 ± 0.67	0.391	2.71 ± 0.45	2.96 ± 0.54	0.048	0.500					
Trochanter	2.25 ± 2.13	4.57 ± 1.31	<0.001	4.82* ± 0.88	5.89* ± 0.50	0.006	3.91 ± 0.99	4.79 ± 0.95	0.006	0.004					
Intertrochanteric zone	8.03 ± 7.30	15.87 ± 5.10	<0.001	15.13* ± 2.50	20.30 ± 4.42	0.012	11.74 ± 2.82	14.46 ± 4.66	0.049	0.003					
Ward's triangle	0.53 ± 0.48	0.84 ± 0.27	<0.001	0.92 ± 0.21	0.96 ± 0.08	0.579	0.86 ± 0.13	0.88 ± 0.16	0.421	0.570					

Soft Ground vs. Controls

* Hard Ground vs. Soft Ground

† Hard Ground vs. Controls

Table 3. Evolution of bone mineral density at the whole body and hip. Analysis adjusted for age, weight, height, tanner and years playing.

Variable	BMD (g·cm ⁻²)															Group by time interaction P
	SG			HG			CON						P			
	PRE	POST	P	PRE	POST	P	PRE	POST	P							
Whole-body scan																
Mean arms	0.49 ± 0.03	0.56 ± 0.04	<0.001	0.53 ± 0.04	0.59 ± 0.05	<0.001	0.52 ± 0.31	0.59 ± 0.07	0.002	<0.001						
Pelvis	0.73 ± 0.06	0.82 ± 0.06	<0.001	0.82* ± 0.06	0.89 ± 0.06	<0.001	0.76 ± 0.09	0.82 ± 0.07	0.000	<0.001						
Mean legs	0.78 ± 0.05	0.88 ± 0.06	<0.001	0.86* ± 0.05	0.95 ± 0.05	<0.001	0.83 ± 0.09	0.88 ± 0.07	0.035	<0.001						
Total	0.99 ± 0.07	1.06 ± 0.10	<0.001	1.05 ± 0.05	1.08 ± 0.07	0.515	1.00 ± 0.08	1.04 ± 0.17	0.377	0.053						
Hip																
Femoral neck	0.40 ± 0.36	0.68 ± 0.21	<0.001	0.75* ± 0.09	0.79 ± 0.06	0.100	0.64# ± 0.12	0.70 ± 0.08	0.046	0.184						
Trochanter	0.43 ± 0.37	0.68 ± 0.22	<0.001	0.75* ± 0.08	0.73 ± 0.06	0.480	0.65# ± 0.09	0.65 ± 0.08	0.925	0.651						
Intertrochanteric zone	0.50 ± 0.45	0.84 ± 0.24	<0.001	0.92 ± 0.13	0.99 ± 0.08	0.064	0.80 ± 0.11	0.88 ± 0.10	0.023	0.133						
Ward's triangle	0.45 ± 0.41	0.87 ± 1.10	0.007	0.77 ± 0.14	0.81 ± 0.05	0.295	0.70 ± 0.11	0.74 ± 0.12	0.079	0.698						

Soft Ground vs. Controls

* Hard Ground vs. Soft Ground

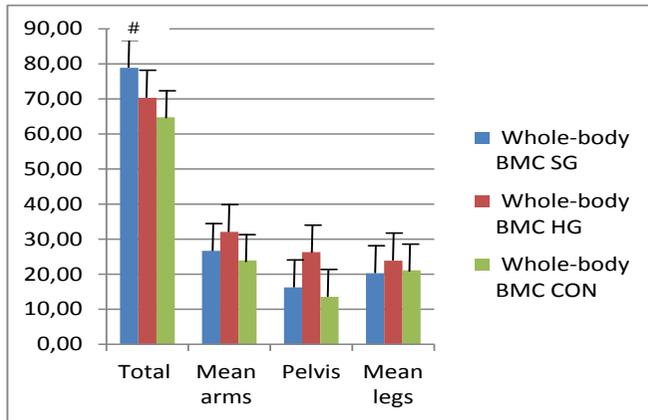
† Hard Ground vs. Controls

Table 4. Soccer grounds results.

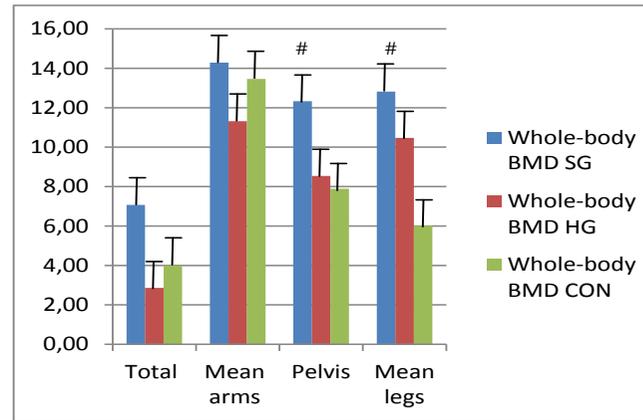
	PRE			POST		
	Vertical deformation mm	Shock absorption %	Energy restitution %	Vertical deformation mm	Shock absorption %	Energy restitution %
Hard Ground						
Field 1	0.20	21.90	71.60*	0.21	21.40	71.24*
Soft Ground						
Field 1	3.70	48.90	39.70	3.30	49.20	43.80
Field 2	5.50	61.00	37.70	4.50	61.12	37.70
Field 3	5.85	61.17	36.83	4.70	61.00	43.90
Field 4	7.30	70.30	42.70	6.60	69.10	43.20
Field 5	5.83	61.17	36.80	4.68	61.00	43.92
Mean	5.60*	60.50*	38.74	4.75*	60.28*	42.50

* Hard Ground vs. Soft Ground

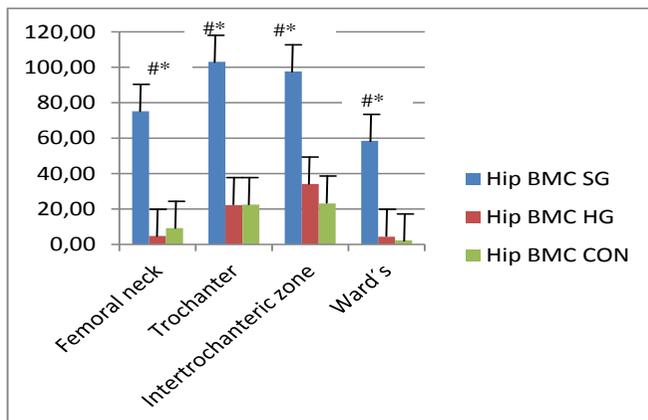
Change whole-body BMC (%)



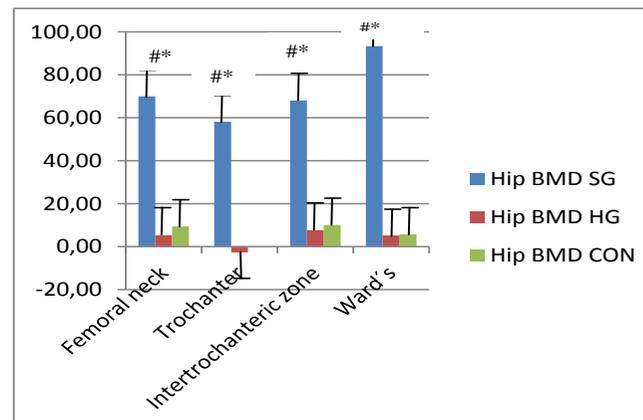
Change whole-body BMD (%)



Change Hip BMC (%)



Change Hip BMD (%)



Soft Ground ; Hard Ground ; Control (CON).
[#]Soft Ground vs. Controls
^{*} Hard Ground vs. Soft Ground
[†] Hard Ground vs. Controls

Figure 1. Percentage of change of BMC and BMD at whole body and hip.

