

**UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA**  
**DEPARTAMENTO DE DIDÁCTICA DE LA EXPRESIÓN**  
**MUSICAL, PLÁSTICA Y CORPORAL**



**TESIS DOCTORAL**

**INFLUENCIA DE PROGRAMAS DE EJERCICIO FÍSICO VIBRATORIO  
SOBRE LOS FACTORES DETERMINANTES PARA LAS FRACTURAS  
ÓSEAS, FUNCIÓN NEUROMUSCULAR Y CALIDAD DE VIDA EN  
MUJERES MAYORES**

**ARMANDO MANUEL DE MENDONÇA RAIMUNDO**

**Cáceres, 2006**

***Edita: Universidad de Extremadura  
Servicio de Publicaciones***

Caldereros 2. Planta 3<sup>a</sup>  
Cáceres 10071  
Correo e.: [publicac@unex.es](mailto:publicac@unex.es)  
<http://www.unex.es/publicaciones>



Universidad de Extremadura

FACULTAD DE CIENCIAS DEL DEPORTE. Cáceres.

*Departamento de Didáctica de la Expresión Musical, Plástica y Corporal*

Avenida de la Universidad, s/n

10071 – Cáceres

Tfno: 927 257 460. Fax: 927 257 461

E-mail: ngusi@unex.es

NARCIS GUSI FUERTES, Doctor en Ciencias de la Educación y Profesor Titular del Área de Educación Física y Deportiva de la Universidad de Extremadura.

CERTIFICA:

Que la memoria presentada por D. Armando Manuel de Mendonça Raimundo, con el título: **“INFLUENCIA DE PROGRAMAS DE EJERCICIO FÍSICO VIBRATORIO SOBRE LOS FACTORES DETERMINANTES PARA LAS FRACTURAS ÓSEAS, FUNCIÓN NEUROMUSCULAR Y CALIDAD DE VIDA EN MUJERES MAYORES”** ha sido realizada bajo mi dirección. Considero que este trabajo reúne las condiciones científicas necesarias para ser defendido y juzgado por el tribunal correspondiente, a fin de poder optar al grado de Doctor en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte por la Universidad de Extremadura.

Y para que así conste, firmo el presente certificado en Cáceres, a 12 de Julio de 2006.

Prof. Dr. D. Narcis Gusi Fuertes

**A mis padres, Armando e Mitó por lo incentivo y apoyo.**

**A Luisa, por su comprensión.**

**A mis hijos Maria y Armando por lo tiempo que no estuve presente.**

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi director de tesis, Narcis Gusi, por haber sabido transmitirme el interés y entusiasmo por la investigación. Ningunas palabras pueden expresar mi gratitud por la forma particular y amistosa como siempre me ha recibido y apoyado en todo este trayecto de varios años.

A mis amigos y compañeros del Laboratorio de Condición Física y Calidad de Vida, Mamen y Adsuar por su colaboración, en especial en la recorra de datos. En particular un grande abrazo a Pablo Tomás Carús, por haber sido un grande compañero a lo largo del tiempo que pasé en Cáceres, por su colaboración en la recoja de los datos, sus consejos, y al final por todo su empeño para que el presente documento final tuviera lo mínimo de errores ortográficos.

Al médico Alejo Leal (Unidad de Traumatología, Hospital de Cáceres), por su apoyo en el proyecto.

A Universidad de Évora, por permitir aplicar el programa de ejercicio vibratorio en su Laboratorio de Exercício e Saúde.

A mis colegas de Universidad de Évora, por su amistad. A Peter Vogelaere por sus consejos y por me haber encorajado al lo largo de todos estos años. A José Rafael por el soporte y entusiasmo. A mis alumnos de 4 año de la licenciatura en Educación Física y Deporte, Ana Fernandes, Ana Carrageta, Ana Catronga, Cristina Quitéria, David Carvalho, Maria Lobo, Sara

Mataloto, por su apoyo en la evaluación de condición física de las participantes, y por su ayuda en el control de la intervención.

A mí amigo Francisco del Arco (Paco) por su ayuda preciosa en la revisión del castellano del presente documento.

A Fundação Eugénio d'Almeida por su apoyo para la aplicación de la investigación.

A Consejería de Sanidad y Consumo. Investigación Socio-sanitaria (SCSS0466, proyecto Prevención de caídas y osteoporosis mediante ejercicio vibratorio para personas mayores caedoras en atención primaria).

Gustaría también aquí de agradecer a todas las participantes en el estudio, por su cooperación.

Finalmente, quiero expresar mi agradecimiento a las cinco personas que, sin saberlo, han sido las razones fundamentales para que pueda entregar este trabajo:

A mis padres, Armando y Mitó, por la educación que me dieron y los valores que me inculcaron. Sin duda mis modelos a seguir. No olvido que fueron quien me han permitido abrazar este proyecto.

A mi mujer Luisa, porque fueron muchos los días y noches que tuve que cuidar sola de nuestra casa y niños. Sin duda que me ha dado la estabilidad, mucho estímulo y un grande soporte, para que terminase esta tesis.

A mis hijos Maria y Armando, por lo tiempo que gustaría de haber compartido con su padre y que por estar fuera o ocupado, no les pude retribuir.

Armando Manuel de Mendonça Raimundo

# **ÍNDICE**



<b>1 – INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>2 – REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b>	5
<b>2.1 – Ejercicio físico y Fitness</b>	6
<b>2.1.1 - Actividad física y ejercicio físico</b>	6
<b>2.1.2 – Tipos de ejercicio físico y sus determinantes</b>	7
<b>2.1.2.1 – Orientación o Modo</b>	7
<b>2.1.2.2 – Intensidad</b>	9
<b>2.1.2.3 – Volumen</b>	9
<b>2.1.2.4 – Densidad</b>	10
<b>2.1.2.5 – Frecuencia</b>	10
<b>2.1.2.6 – Progresión</b>	11
<b>2.1.3 – Fitness</b>	11
<b>2.2 - Influencia del ejercicio físico en el rendimiento muscular</b>	12
<b>2.2.1 – Fuerza muscular y la salud</b>	12
<b>2.2.2 – Rendimiento muscular y fuerza</b>	14
<b>2.2.3 - Formas de evaluación de la fuerza y prestación</b> muscular	15
<b>2.2.4 – Entrenamiento de la fuerza muscular</b>	18

<b>2.3 - Influencia del ejercicio físico en el hueso</b>	21
<b>2.3.1 - Respuesta adaptada del hueso a la carga mecánica</b>	21
<b>2.3.1.1 - El esqueleto humano</b>	21
<b>2.3.1.2 - Procesos de adaptación del hueso</b>	22
<b>2.3.2 – Evaluación de la densidad del hueso</b>	23
<b>2.3.3 - Efecto del ejercicio físico en el hueso</b>	24
<b>2.3.3.1 - Respuesta adaptativa do hueso à la carga</b>	
Mecánica	24
<b>2.4 - Influencia del ejercicio físico en la prevención de las fracturas consecuentes de las caídas</b>	26
<b>2.5 - El Ejercicio Vibratorio</b>	29
<b>2.5.1 – Definición</b>	29
<b>2.5.2 – Indicaciones y contraindicaciones</b>	31
<b>2.5.2.1 – Contraindicaciones</b>	32
<b>2.5.2.2 – Indicaciones</b>	32
<b>2.5.3 – Estudios sobre la utilización del ejercicio vibratorio en la masa ósea, en el rendimiento muscular en mayores</b>	33
<b>2.5.4 – Ventajas y desventajas del uso del Ejercicio Vibratorio</b>	36

2.5.4.1 – Desventajas	36
2.5.4.2 – Ventajas	36
2.5.5 – Modelo del conocimiento teórico sobre la aplicación del ejercicio vibratorio	37
<b>3 – OBJETIVOS E HIPÓTESIS</b>	<b>40</b>
<b>4 – MATERIAL Y MÉTODOS</b>	<b>42</b>
4.1 – Muestra	43
4.2 – Procedimientos	44
4.2.1 – Cuestionarios a aplicados	45
4.2.2 – Batería de pruebas de condición física	45
4.2.3 – Función neuromuscular	46
4.2.4 – Densitometría ósea	48
4.2.5 – Programa de entrenamiento del GEV	49
4.2.6 – Programa de entrenamiento del GC	50
4.2.7 – Análisis Estadístico	50
<b>5 – RESULTADOS</b>	<b>52</b>
5.1 – Seguimiento del programa	53
5.2 – Características de los participantes	54
5.3 – Batería de testes de condición física	55

<b>5.4 – Función neuromuscular valorada con Dinamometría i</b>	
socinética	60
<b>5.5 – Densidad mineral ósea</b>	66
<b>6 – DISCUSIÓN</b>	70
<b>6.1 – Aplicabilidad y cumplimiento del entrenamiento</b>	71
<b>6.2 – Bateria de Condición Física</b>	72
<b>6.3 – Función neuromuscular valorada con dinamometría i</b>	
socinética	76
<b>6.4 – Densitometría ósea valorada con densitómetro de rayos X</b>	
de doble energía	78
<b>6.5 – Limitaciones</b>	80
<b>7 – RESUMEN Y CONCLUSIONES</b>	82
<b>7.1 – Resumen</b>	83
<b>7.2 – Conclusiones</b>	86
<b>8 – RESUMO E CONCLUSÕES</b>	89
<b>8.1 – Resumo</b>	90
<b>8.2 – Conclusões</b>	93
<b>9 – SUMMARY NA CONCLUSIONS</b>	96

<b>8.1 – Summary</b>	97
<b>8.2 – Conclusions</b>	101
<b>9 – REFERENCIAS</b>	103

## Índice de figuras

Fig 1	16
Fig 2	24
Fig 3	31
Fig 4	37
Fig 5	39
Fig 6	48
Fig 7	49
Fig 8	54
Fig 9	57
Fig 10	58
Fig 11	58
Fig 12	59
Fig 13	59
Fig 14	62
Fig 15	63
Fig 16	64
Fig 17	65

Fig 18	68
Fig 19	68
Fig 20	69
Fig 21	69

## Índice de Tablas

Tabla I	8
Tabla II	45
Tabla III	55
Tabla IV	56
Tabla V	61
Tabla VI	67



## **Abreviaturas**

<b>ANOVA</b>	<b>Análisis de la Varianza</b>
<b>CMJ</b>	<b>Counter Movement Jump</b>
<b>CMO</b>	<b>Contenido de la Masa Ósea</b>
<b>DMO</b>	<b>Densidad Mineral Ósea</b>
<b>DXA</b>	<b>Densitómetros de Rayo X de Doble Energía</b>
<b>EV</b>	<b>Ejercicio Vibratorio</b>
<b>FC</b>	<b>Frecuencia Cardíaca</b>
<b>GC</b>	<b>Grupo Caminar</b>
<b>GEV</b>	<b>Grupo Ejercicio Vibratorio</b>
<b>HZ</b>	<b>Hertzios</b>
<b>RM</b>	<b>Repetición Máxima</b>
<b>SJ</b>	<b>Squad Jump</b>

# **1 - INTRODUCCIÓN**

La práctica de ejercicio físico puede reducir la influencia los factores de riesgo implicados en la pérdida de la salud, ya que con ella se consiguen una serie de mejoras como por ejemplo, la reducción de la grasa corporal o el aumento de la masa y fuerza muscular (Roelants M, Delecluse C, Goris M, & Verschueren S, 2004). El ejercicio físico también es efectivo para aumentar la flexibilidad, el equilibrio y el tiempo de reacción, reduciendo el riesgo de caídas y fracturas óseas (Heinonen A, Kannus P, Sievänen M, Oja P, & Vuori I, 1999; Kannus P, Pakkardi J, & Sievanen H, 1994). Entre las cualidades físicas relacionadas con la salud funcional destaca la fuerza muscular, sobre todo, la fuerza de las piernas por su influencia en la movilidad y las actividades cotidianas de las personas (Ploutz-Snyder L, Manini T, Ploutz-Snyder R, & Wolf D, 2002). Algunos investigadores sugieren que el producto de la fuerza por la velocidad es crítico para permitir que un sujeto pueda reaccionar o de prevenir la posibilidad de tropezar y consecuentemente sufrir una caída (Runge M, Rehfeld G, & E., 2000).

Sin embargo, uno de los actuales problemas en la salud pública derivado de la osteoporosis, son las caídas y sus consecuentes fracturas óseas en mayores (Kannus P, Parkkari J, & Niemi S, 1995). A pesar de ser uno de los motivos prioritarios en el ámbito de la investigación biomédica, sigue siendo un campo en el cual, los resultados no son del todo consistentes probablemente debido a la edad de los sujetos, a las estructuras óseas evaluadas, y también debido al modo, intensidad, duración y frecuencia del ejercicio, que son muy variados de un estudio a otro (Iwamoto J, Takeda T, & Ichimura S, 2001). En cualquier caso se sabe que los factores determinantes de las fracturas óseas son: las caídas, la fragilidad del hueso, la falta de equilibrio y la disminución de la fuerza en los miembros inferiores (Kannus P et al., 1995; Torvinen S, Kannus P, Sievänen H, Järvinen T, Pasanen M, Kontulainen S, Nenonen A et al., 2003).

La literatura científica describe distintos métodos para disminuir estos factores de riesgo. Se han empleado, tanto en tierra como en medio acuático, diferentes tipos de entrenamiento de fuerza y de programas aeróbicos.

Si bien el organismo humano es sometido frecuentemente a vibraciones en el ámbito laboral y deportivo (automovilismo, motociclismo, esquiadores, ciclismo, hípica, etc.), sus posibles repercusiones en su salud y rendimiento físico han sido poco estudiadas (Mester J, Splizenfell P, Schwarzer J, & Selfriz F, 1999). En el ámbito médico, aparecen en el siglo XIX las primeras referencias sobre los efectos de los estímulos vibratorios en relación con el tratamiento de alteraciones de la salud (Granville, 1881 – citado por (Issurin V, Lieberman D, & Tenenbaum G, 1994), y en el de fisioterapia surgen en Rusia cerca del año 1950. A partir de 1970, también en Rusia, se empieza a utilizar el ejercicio vibratorio (EV) en el ámbito deportivo (Weber R, 1997). A pesar de todo, hasta hace poco el ejercicio vibratorio ha estado considerado como un factor de riesgo para las dolores musculares, por lo que su uso y estudio han sido muy escasos. Este tipo de actividad se ha mostrado efectiva con animales y adultos jóvenes en lo que se refiere al aumento de la fuerza y equilibrio. Todavía en lo que respecta al efecto en el hueso y en poblaciones menos jóvenes, los resultados no han sido persistentes.

Los estudios de los últimos años han mostrado las posibilidades terapéuticas y de mejora en el rendimiento deportivo mediante la influencia del EV controlado sobre la actividad muscular por vía refleja (Rittweger J, Mutschelknauss M, & Felsenberg D, 2003) y el impacto mecánico sobre el sistema óseo (Rubin C, Pope M, Fritton JC, Magnusson M, Hansson T, & K, 2003). Asimismo, la reciente aparición de aparatos comerciales, que pueden modular las características del ejercicio vibratorio, ha permitido que más científicos y técnicos apliquen y estudien los efectos del EV. Así, el análisis de las respuestas y su aplicación mediante programas de entrenamiento de EV permiten mejorar las propiedades mecánicas y la competencia neuromuscular del organismo, reduciendo la fragilidad esquelética y la predisposición a las caídas (Jiang Y, Zhao J, Rosen C, Geusens P, & Genant H, 1999). Sin embargo, la relación entre las características o dosis del EV (amplitud, frecuencia, tiempo de oscilación, etc.) y sus efectos sobre los niveles de salud y condición física son poco conocidos.

Consecuentemente, el propósito de este estudio es: comparar el efecto del ejercicio vibratorio con el que produce un programa de caminar, tanto sobre la masa ósea como sobre la condición física.

## **2 – REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

## 2.1 – Ejercicio físico y Fitness

### 2.1.1 - Actividad física y ejercicio físico

La actividad física se entiende como cualquier movimiento del cuerpo (o partes importantes del cuerpo) producido por los músculos esqueléticos que tiene como resultado un gasto energético (ACSM, 2006). Si una actividad física se realiza repetidamente con un propósito determinado, como por ejemplo, el de mejorar algún componente(s) de la condición física se denomina ejercicio físico (Howley C & Franks A, 1995). La práctica de ejercicio físico regular está considerada un hábito de vida saludable, ya que las personas que lo realizan son más propensas a estar en forma (Bouchard C, 1994). Unos niveles apropiados de condición física o fitness se asocian con una esperanza de vida más larga, una mejor salud funcional y calidad de vida, previniendo la aparición de enfermedades o alteraciones de la salud (Blair SN, 1994). Consecuentemente, el sedentarismo está asociado a índices de fitness bajos y propensión para problemas de salud (Paffenbarger RS, 1994). Una de las cualidades físicas que más influyen en la salud funcional (capacidad de las personas para realizar actividades cotidianas) es la fuerza muscular, sobretodo la fuerza máxima y resistencia de la flexión y extensión de las rodillas (Taaffe DR, Simonsick EM, Visser M, Volpato S, Nevitt MC, Cauley JA, Tylavsky FA et al., 2003).

## **2.1.2 – Tipos de ejercicio físico y sus determinantes**

Mientras la prescripción del ejercicio debe ser individualizada según las necesidades de cada sujeto, existen elementos básicos comunes a todas las prescripciones de ejercicio, a los que usualmente se denominan variables del ejercicio de entrenamiento. Estas variables determinan: el modo, el volumen, la intensidad, la frecuencia, la densidad y la progresión del ejercicio de entrenamiento. La eficiencia del ejercicio depende: del modo o tipo de ejercicio que escogemos, de la densidad del ejercicio (que resulta del tiempo que lleva entre la aplicación de las cargas de entreno), de su frecuencia, de la intensidad (caracterizada por la carga y la velocidad de ejecución), y del volumen, dependiente este último de la duración, distancia y número de repeticiones del ejercicio (Tavares C, 2003).

### **2.1.2.1 – Orientación o Modo**

Dependiendo de las masas musculares y coordinaciones específicas de los ejercicios, estos resultarán más o menos adecuados para el desarrollo de los componentes de la condición física. La especificidad del entrenamiento determina así el tipo de ejercicio apropiado para cumplir los objetivos. La tabla I presenta los tipos de entrenamiento a seguir para desarrollar un determinado componente de la condición física, y cuáles son los posibles modos de ejercicios a emplear (adaptado de Heyward (2002)).



**Tabla I – Posible prescripción de Modo de Ejercicio en función del Tipo de Entrenamiento para trabajar una determinada Componente de la Condición Física**

<b>Componente de la Condición Física</b>	<b>Tipo de Entrenamiento</b>	<b>Modo de Ejercicio</b>
Resistencia Cardiorrespiratoria	Ejercicio Aeróbico	Caminar, jogging, ciclismo, remo, subir escaleras, simulación de esquí de fondo, natación, aeróbic, step
Fuerza y Resistencia Muscular	Entrenamiento de Fuerza	Ejercicios con pesos libres y máquinas
Densidad Mineral Ósea	Actividades con el Propio Peso Corporal y Entrenamiento de Fuerza	Caminar, jogging, ciclismo, remo, subir escaleras, simulación de esquí de fondo, aeróbic, step, ejercicios con pesos libres y máquinas
Composición Corporal	Ejercicio Aeróbico y Entrenamiento de Fuerza	Caminar, jogging, ciclismo, remo, subir escaleras, simulación de esquí de fondo, natación, aeróbic, step, ejercicios con pesos libres y máquinas
Flexibilidad	Ejercicios de Flexibilidad	Alongamientos estáticos, Dinámicos y de Facilitación Neuromuscular Propioceptiva
Relajación Neuromuscular	Ejercicios de relajación que requieren algún esfuerzo y concentración	Ejercicios de relajación progresiva y Tai Chi

## 2.1.2.2 – Intensidad

La intensidad de entrenamiento depende de la ratio de la energía aplicada, de la velocidad de ejecución del movimiento, de la inercia, de la resistencia o peso movilizado y de la variación de los intervalos de recuperación entre las distintas series del ejercicio. La medición de la intensidad depende del tipo de ejercicio empleado. Por ejemplo, si estamos en el ámbito del entrenamiento de fuerza, podremos utilizar el porcentaje de una repetición máxima expresada en kilogramos (Kg) y si hablamos de un ejercicio de velocidad emplearemos metros por segundo (m/s). Sin embargo, es común utilizar algunas escalas subjetivas de esfuerzo para permitir que los sujetos transmitan su percepción del esfuerzo realizado (Borg G, 1998). Métodos más científicos implican la utilización de la Ventilación Pulmonar o del Lactato (Tavares C, 2003). Para determinar la intensidad del ejercicio recurriendo a la frecuencia cardiaca, se utiliza habitualmente un porcentaje de la frecuencia cardiaca máxima teórica (220 - edad). En cualquier caso, se recomienda hacer esta misma determinación de forma más rigurosa empleando la fórmula de Karvonen (ACSM, 2006):

$$FC \text{ entreno} = ((FC \text{ máxima} - FC \text{ reposo}) * \% \text{ de intensidad}) + FC \text{ reposo}$$

## 2.1.2.3 – Volumen

El volumen caracteriza la cantidad de actividad física efectuada en el entrenamiento. Cuando pretendemos caracterizar el volumen de un determinado entrenamiento, tendremos que especificar las características del entreno tal como la distancia completada (metros, kilómetros, etc.), el peso que se ha levantado (quilogramos) la duración de las sesiones (minutos, horas o días), el número de ejercicios por sesión, el número de series por ejercicio, y el número de repeticiones por serie (Tavares C, 2003). Esta variable cambia en función del objetivo que pretendemos alcanzar, y está muchas veces relacionada inversamente con la intensidad de la sesión. Por ejemplo el ACSM

---

(2006) recomienda un mínimo de 20 minutos por día de ejercicio cardiovascular para mejorar la capacidad aeróbica.

### **2.1.2.4 – Densidad**

Por densidad de entrenamiento se entiende la frecuencia con la cual el practicante recibe una serie de estímulos por unidad de tiempo (Tavares C, 2003). Podremos entonces apuntar que existe una relación entre las fases de aplicación del trabajo o esfuerzo y las fases de reposo. Para la realización de un entreno, es importante asegurar una adecuada densidad que posibilite optimizar la eficiencia y la efectividad del entreno. La ratio entre el tiempo de trabajo y de reposo determinará el grado de fatiga con el la cual se realizan las posteriores fases de trabajo, determinando incluso el sistema energético a emplear. Por ejemplo, un ejercicio con alta intensidad de corto tiempo seguido de mucho reposo, podrá ser un esfuerzo anaeróbico aláctico o de velocidad. En cambio, a medida que se va reduciendo el tiempo de descanso y se alarga el tiempo de esfuerzo, probablemente se va haciendo un esfuerzo más del tipo anaeróbico láctico. Por lo cual, sesiones con intensidades más elevadas requieren intervalos de reposo más grandes para asegurar que hay una recuperación adecuada. Por el contrario, sesiones con intensidades más bajas, permiten intervalos de recuperación más pequeños debido al menor grado de exigencia.

### **2.1.2.5 – Frecuencia**

Se entiende por frecuencia el número de ejercicios o sesiones de entrenamiento que se realizan por unidad de tiempo (Tavares C, 2003). Lo más usual es considerar el número de sesiones por semana. Según Heyward (2002), 3 veces por semana es el número de sesiones suficientes para mejorar varios de los componentes de la condición física. El ACSM (2006) recomienda

---

que se haga actividad física entre 3 y 5 días por semana, teniendo en consideración la intensidad de ejercicio (menos intensidad si son 5 días, y más si son 3 días).

### **2.1.2.6 – Progresión**

La forma de progresión de un programa de ejercicio depende de la capacidad funcional, del estado médico y de salud, de la edad, de las preferencias individuales (en términos de actividad a elegir), de los objetivos de cada uno y de la capacidad de tolerar el nivel de actividad (ACSM, 2006). También es importante respetar los principios generales del entrenamiento deportivo. Respecto a los mayores con niveles de condición física baja se aconseja que se aumente más la duración del ejercicio que la intensidad de este, particularmente en una fase inicial del programa de entrenamiento (Heyward V, 2002).

### **2.1.3 – Fitness**

El Fitness es un concepto multidimensional que fue definido como un conjunto de atributos que los sujetos pueden presentar o alcanzar, relacionados con la capacidad de realizar una actividad física. Comprende aspectos relacionados con la destreza motora, aspectos relacionados con la salud, y con algunos componentes fisiológicos (ACSM, 2006). Entre los aspectos del fitness relacionados con la destreza motora, la misma organización, apunta: la agilidad, el equilibrio, la coordinación, la velocidad, la potencia y el tiempo de reacción, y están habitualmente asociados con el deporte y prestación motora. Los aspectos relacionados con la salud se encuentran asociados con la capacidad de cumplir las tareas diarias con vigor, y gozar de una serie de capacidades que disminuyen el riesgo de desarrollar

precozmente enfermedades relacionadas con el ámbito hipocinético (aquellas que están asociadas con la inactividad física).

El ACSM (2006) entre los componentes del fitness relacionados con la salud, realza la resistencia cardiovascular, la fuerza y resistencia muscular, la flexibilidad y la composición corporal. En lo que respecta a los componentes fisiológicos, hay que tener en cuenta tanto el estado del sistema metabólico y las variables predictivas del riesgo de padecer diabetes o enfermedades cardiovasculares, como la composición corporal, más concretamente, la cantidad de masa grasa y el estado óseo.

## **2.2 - Influencia del ejercicio físico en el rendimiento muscular**

### **2.2.1 – Fuerza muscular y la salud**

La fuerza muscular es la cantidad de fuerza (se expresa en Newtons, o más comúnmente en Kg) que es ejercida por un músculo (Howley C et al., 1995). Desde el punto de vista de la física, la fuerza es una influencia que al actuar sobre un objeto hace que éste cambie su estado de movimiento, expresándose como el resultado del producto de la masa por la aceleración ( $F = m \times a$ ) (Manso J, Valdivielso M, & Caballero J, 1996). La capacidad de realización de fuerza muscular depende de la masa muscular y de la inervación (función neuromuscular). Así, para mejorar los niveles de fuerza se necesita intervenir en ambos factores.

Como es sabido durante las primeras semanas de cualquier programa de entrenamiento, se atribuye a las adaptaciones del sistema nervoso los incrementos de fuerza (Zhou S, 2000). También el entrenamiento aumenta la síntesis proteica en las miofibrillas produciendo una hipertrofia muscular que

contribuye significativamente al aumento de la fuerza (Frontera W, Huges V, Krivickas L, Kim SK, Foldvary M, & Roubenoff R, 2003). Con el envejecimiento humano esta cualidad física va disminuyendo (Gajdosik R, Linden DV, & Williams A, 1999). Esta disminución depende en parte de la pérdida de masa muscular (atrofia muscular) (Sargeant, 1995). Esta pérdida empieza a afectar de forma relevante a la calidad de vida alrededor de los 50 años de edad (Simkin, 2002), y especialmente en mujeres posmenopáusicas debido al pronunciado declive hormonal (Kallinen M & Markku A, 1995). Estudios longitudinales mostraron una pérdida aproximadamente de 1-2% por año en la fuerza isocinética en rodilla (Frontera W & Bigard X, 2002).

Se puede establecer una relación entre la fuerza de las piernas y la capacidad de realizar las actividades cotidianas relativas a la movilidad de las personas, tales como levantarse de una silla, caminar a una velocidad apropiada, subir y bajar escaleras, etc. Por todo esto, la disminución de la fuerza muscular tiene un importante efecto en la salud pública. De acuerdo con los datos de Gill et al., (1995), citados por Ploutz-Snyder et al. (2002), los mayores de 75 años pierden en cada año, cerca de 10% de su autonomía para desarrollar las actividades diarias. El declive de la fuerza muscular en las piernas esta asociada a problemas de equilibrio, caídas, fracturas óseas, y pérdida de la independencia por inmovilidad (Murphy S, Dubin J, & Gill T, 2003). Las fracturas de fémur representan casi un tercio del total de las camas hospitalarias ocupadas por personas de más de 65 años (excluyendo los casos psiquiátricos) en una serie de países de Europa Occidental (Sargeant, 1995).

Combinados con la fuerza muscular hay otros factores que afectan a la capacidad de realizar las tareas diarias, como la flexibilidad, la selección de la estrategia a seguir, la visión, el equilibrio y el control postural, la resistencia muscular y otros (Chandler J, Duncan P, Kochersberger G, & Studenski S, 1998; Ploutz-Snyder L et al., 2002). Dado que la fuerza muscular de las piernas es importante para la calidad de vida, se recomienda que las personas participen en programas de ejercicio que incluyan entrenamiento de fuerza (Hyatt R, Whitelaw M, Bhat A, Scott S, & Maxwell J, 1990). Al respecto, Frontera & Bigard (2002) refieren estudios donde jóvenes, mayores e incluso

en mayores en estado frágil lograron aumentos significativos en la fuerza muscular (estática y dinámica incluyendo la isocinética) después de programas de entreno de fuerza.

## 2.2.2 – Rendimiento muscular y fuerza

La actividad muscular es provocada por una serie de impulsos nerviosos. Asimismo cuando el músculo se excita varía su estado mecánico condición que se denomina de contracción. No obstante, hay que decir que una contracción no es necesariamente un acortamiento visible del músculo, sino una tensión dentro del propio músculo.

Hablamos de una contracción isométrica cuando la resistencia iguala a la capacidad de contracción, por lo que no representa cambios en la longitud del músculo. No obstante y como refieren Jiménez F & Aguillar A (2000), en la práctica no existe una contracción isométrica pura ya que, aunque las inserciones del músculo se queden fijas y no exista movimiento, las fibras musculares se acortan un 7 % a expensas del componente elástico en serie del tendón que cede al comienzo de la contracción.

Diferente es sin duda la contracción dinámica, una vez que el músculo cambia de longitud, se produce un trabajo externo que se puede cuantificar a partir de los datos de la fuerza y de la distancia recorrida. Respecto a la tensión que se genera en el músculo durante la contracción, esta puede ser: isotónica (isodinámica) si la fuerza de contracción se mantiene constante e invariable en todo el rango de movimiento, o alodinámica si la tensión varía a lo largo de toda la acción (Manso J et al., 1996). En relación a la velocidad con que se desarrolla la tensión, podremos decir que es una contracción isocinética si la velocidad del movimiento es invariable, o por el contrario de contracción heterocinética si la velocidad del movimiento se altera (Manso J et al., 1996).

Respecto a la dirección de cambio de longitud muscular, la acción puede ser concéntrica cuando se produce un acortamiento de las fibras musculares,

debido a que la resistencia es menor que la potencia muscular lo cual significa un trabajo positivo; o excéntrica, cuando la acción produce un alargamiento de las fibras musculares debido a que la resistencia es mayor que la potencia muscular y significa que el trabajo es negativo (Perrin DH, 1993).

La fuerza es máxima en la longitud de equilibrio. Cuando la fibra está estirada o, por el contrario, cuando se acorta, la fuerza que puede desarrollar disminuye progresivamente, hasta que acaba siendo nula (Jiménez F et al., 2000). De este modo, cuando un músculo se encuentra estirado al 15% de su longitud de equilibrio, reduce las posibilidades de contacto entre la actina y la miosina y ya no puede formarse ningún puente de unión. Durante el acortamiento en el cual las fibras musculares alcanzan un 70% de su longitud de equilibrio, la posibilidad de producir fuerza se vuelve nula.

La fuerza máxima isométrica que un músculo es capaz de desarrollar depende de su superficie de sección. Las variaciones de su valor dependen entre otros de la proporción de fibras contráctiles y del tejido conjuntivo, de la proporción de fibras de tipo II (su velocidad de contracción es 1,5 veces más alta que en las fibras tipo I) y de las características de la activación nerviosa (Jiménez F et al., 2000).

### **2.2.3 - Formas de evaluación de la fuerza y prestación muscular**

La literatura presenta variadas formas de evaluación de la fuerza según los objetivos perseguidos y los medios disponibles para evaluarla. En este apartado presentaremos las más habituales en el ámbito de esta tesis doctoral.

A lo largo de los últimos años, varias compañías han desarrollado unas máquinas sofisticadas denominadas dinamómetros isocinéticos que permiten evaluar la fuerza en diferentes ángulos y velocidades de ejecución de forma continua, tanto en acciones isométricas como en concéntricas y excéntricas.



Estos dinamómetros isocinéticos pueden controlar la velocidad angular del movimiento de las articulaciones en el eje articular que deseemos medir mediante resistencias variables al movimiento humano. La resistencia ofrecida por el instrumento es la suficiente para mantener la velocidad del movimiento elegido mediante una oposición a la fuerza ejercida por el músculo. De esta manera, el músculo puede realizar el máximo esfuerzo a lo largo de todo el recorrido y medir de forma continua este máximo esfuerzo en todos los ángulos (Hageman P & Sorensen T, 1999). Dentro del instrumento se encuentra un transductor que permite monitorizar la fuerza muscular que el sujeto realiza en cada instante, enviando la información a un ordenador que calcula la fuerza generada en cada momento y en cada ángulo de movimiento. Si bien los ejercicios isocinéticos o de velocidad constante no se suelen producir de una forma natural, estos permiten una evaluación objetiva fiable y exhaustiva de la máxima fuerza muscular en todo el recorrido.



Fig. 1 – Isocinético Biodex

El torque o momento de fuerza es uno de los parámetros isocinéticos más utilizados para obtener información relativa a la prestación muscular del hombre. El torque significa la fuerza desarrollada multiplicada por la distancia

del eje de rotación al punto de aplicación de la fuerza. Puede ser considerado como la máxima fuerza que un grupo muscular es capaz de producir a una velocidad angular específica, y podremos siempre relacionarlo con el ángulo en que ha sido obtenido (Perrin DH, 1993). En el Sistema Internacional se utiliza el Newton por metro como la unidad de medida del momento de fuerza/torque.

Se puede también determinar la fuerza, mediante la realización de una prueba en una máquina tradicional de musculación. En el cálculo de la fuerza máxima se utilizan distintos métodos: hay pruebas que utilizan pocas repeticiones (<3,) y otras muchas (>12). Sin embargo, tradicionalmente la prueba de una repetición máxima (1-RM), que representa la máxima resistencia que se puede mover en toda la amplitud del movimiento de forma controlada y manteniendo una postura correcta, continua siendo un medio estándar para determinar la fuerza dinámica (ACSM, 2006). No obstante, en mayores y pacientes de diversas patologías es aconsejable utilizar una prueba menos lesiva para su salud.

Otro equipamiento que permite evaluar la fuerza es la plataforma de fuerza o dinamométrica. Con este equipamiento, podremos evaluar la fuerza ejercida contra el suelo en una zona limitada (plataforma). La información respecto a la fuerza ejercida es representada utilizando los 3 ejes espaciales (x, y, z), lo cual indica la cantidad de fuerza ejercida en términos verticales y horizontales. Este método es muy utilizado en el ámbito del entrenamiento deportivo.

Otro tipo de plataforma muy corrientemente utilizada en investigaciones recientes es la plataforma de Bosco o “Ergo Jump”. Esta plataforma mide el tiempo del salto así como la altura del vuelo. Son dos los protocolos de saltos más utilizados (Bosco C, 1994): a) el “Squad Jump” que consiste en ejecutar un salto tomando como posición de partida una postura de flexión de rodillas de 90° y sin realizar un contramovimiento previo. Ambas manos deben quedarse fijadas a las caderas. El tronco debe estar en una posición erecta sin un adelantamiento excesivo. Durante el vuelo, las piernas se deben mantener rectas y la recepción deberá ser hecha en primer lugar con las puntas de los pies; b) el “Counter Movement Jump”, que al contrario del anterior permite que

antes del salto el ejecutante pueda hacer una flexión seguida de la extensión rápida de las piernas. La flexión deberá ser de 90° máximo. La posición de las manos es igual que en la prueba anterior. La principal diferencia entre los saltos, es que en el CMJ se aprovecha la energía elástica generada durante la flexión-extensión de la rodilla, por lo cual la altura y el tiempo de vuelo en el CMJ deberán ser mayores que en el SJ.

Para evaluar la prestación muscular en relación con la salud existen diversas baterías de pruebas de condición física. Dichas pruebas permiten obtener información sobre el estado del sistema neuromuscular de un sujeto y sobre la capacidad de llevar a cabo las tareas diarias y de ocio de una forma controlada sin alcanzar estados de fatiga excesiva. A lo largo de los años fueron varios los autores que diseñaron estas baterías de condición física relacionadas con la calidad de vida (AAHPERD, 1980; Beunen G, Ostyn M, Simons J, Renson R, Claessens AL, Vanden Eynde B, Lefevre J et al., 1997; Fleishman E, 1964). Dichas baterías hacen parte distintas pruebas como por ejemplo, las pruebas de subida de escaleras, caminar 4, 6 o 10 metros, levantarse y sentarse en una silla, etc., que siguen siendo utilizados de acuerdo con los objetivos de los estudios.

## 2.2.4 – Entrenamiento de la fuerza muscular

A menos que existan alteraciones anormales de la salud que afecten a la función neuromuscular, hasta la edad adulta no empieza el declive paulatino de la fuerza muscular por razones de envejecimiento. Señales inequívocas de este declive son la creciente fragilidad del organismo y la dificultad para realizar sus tareas diarias. El ejercicio físico realizado regularmente permite reducir los efectos del envejecimiento fisiológico. Para fortalecerse, un músculo o un grupo de músculos deben ejercer una fuerza contra una resistencia que sea mayor de la que suelen encontrar habitualmente. El término “principio de sobrecarga” suele utilizarse para expresar este concepto (Howley C et al., 1995). Para prevenir el declive de la fuerza los investigadores, usualmente, recomiendan el

ejercicio físico basado en métodos muy genéricos tal como programas de caminar por su simplicidad de realización (Yamazaki S, Ichimura S, Iwamoto J, Takeda T, & Toyama Y, 2004), aeróbic y otros más específicos como el entrenamiento de la fuerza (Frontera W et al., 2003; Kallinen M et al., 1995; Simkin, 2002).

El entrenamiento de la fuerza permite mejorar los índices de fuerza muscular, y dependiendo de la forma de entrenamiento se puede incluso obtener hipertrofia muscular, adaptaciones celulares y mejorías en la prestación motora (Frontera W et al., 2002). Hay tres tipos básicos de programas destinados al desarrollo de la fuerza (Howley C et al., 1995). El primer tipo de programa es el entrenamiento isométrico, que conlleva una contracción muscular estática en que la longitud global del músculo no varía durante la aplicación de una fuerza contra una resistencia fija (intentar mover un objeto inamovible). El segundo tipo de programa es el entrenamiento isotónico (con y sin resistencia variable). Este programa suele consistir en ejercicios con pesos libres o máquinas. Los ejercicios isotónicos implican acciones concéntricas (el músculo se acorta conforme se va moviendo el peso contra la fuerza de la gravedad, por lo tanto se realiza un trabajo positivo) y acciones excéntricas de los músculos (las fibras musculares se alargan a medida que el peso se mueve en la dirección de la fuerza de la gravedad por lo cual en estas circunstancias, la fuerza responsable del movimiento es la gravedad y no la acción muscular, que en este caso produce un efecto de frenado del movimiento). El tercer tipo de programa es el entrenamiento isocinético (descrito en el punto anterior).

Mediante entrenamiento de fuerza se registraron mejoras del 10 al 180% en términos de fuerza. Estos progresos variaban en función de la metodología seguida y los medios utilizados, como por ejemplo, los pesos libres, las poleas, las máquinas isocinéticas y otras de resistencia variable. La mayor parte de los estudios sobre entrenamientos de la fuerza muscular desarrollaron de 2 a 6 series con 5-15 repeticiones en cada sesión por cada grupo muscular. Asimismo, se recomendaron una frecuencia de 2 a 5 días por semana y que la intensidad variara entre el 40 y el 90 % de una repetición máxima. De este

---

modo, el entrenamiento de la fuerza se ha mostrado efectivo tanto para el aumento de la fuerza estática, como para el de la dinámica (Frontera WR, Meredith CN, O'Reilly KP, Knuttgen HG, & Evans WJ, 1988). Los progresos en fuerza pueden ser efectivos con pocos días de entrenamiento y sus efectos no desaparecen inmediatamente después de cesar la práctica (Frontera W et al., 2002). El músculo es capaz de responder a la carga del entrenamiento con un aumento de la síntesis de las proteínas contráctiles (Yarasheskin KE, Zachwieja JJ, & Bier DM, 1993). Esto provoca su hipertrofia tanto en las fibras tipo I como en las tipo II. Con el entrenamiento de la fuerza las adaptaciones fisiológicas dan como resultado un aumento de la capacidad funcional. Asimismo, con el entrenamiento de fuerza, hombres y mujeres mayores han mejorado la capacidad de caminar y subir escaleras, lo que en términos de salud funcional les permite tener una mayor calidad de vida (Pu CT & Nelson ME, 1999). Por otro lado, este tipo de programas de ejercicio físico presentan una dificultad de aplicación en personas disminuidas físicamente (personas con tendencia a caerse, con osteoartritis, mayores muy poco activos, etc.) que no están acostumbrados a hacer actividad física. Simkin (2002) refiere también que las personas en estado frágil no pueden hacer regularmente ejercicios aeróbicos debido a que presentan problemas de movilidad asociados a su edad. De esta manera, el margen seguro de aplicación de una dosis de ejercicio, tiende a disminuir con la edad. Por otra parte, las lesiones más frecuentes en personas mayores son las relacionadas principalmente con actividades deportivas como juegos con balón, esquí o gimnasia deportiva, modalidades que exigen movimientos rápidos y explosivos (Kallinen M et al., 1995).

## **2.3 - Influencia del ejercicio físico en el hueso**

### **2.3.1 - Respuesta adaptada del hueso a la carga mecánica**

#### **2.3.1.1 - El esqueleto humano**

El esqueleto humano está compuesto por 206 huesos individuales con funciones diversas. Asimismo estas funciones pueden ser de protección de los órganos vitales, soporte contra la acción de la gravedad y sistema de aplicación para la acción de los muslos. También juegan un papel importante en los procesos relacionados con la homeostasis del calcio y fosfato, en el sistema inmunitario y en la hematopoyesis (Bailey DA, Faulkner RA, & McKay HA, 1996).

La composición del tejido óseo es una combinación de fibras de colágeno, proteínas y minerales. Cerca del 30% de la masa de un hueso que ya ha alcanzado su saturación es mineral, el resto lo componen proteínas, grasa y agua. Del contenido mineral óseo total aproximadamente 37% es calcio, siendo el resto de los minerales fósforo, sodio, potasio, zinc, magnesio y otros en menor cantidad (Bailey DA et al., 1996).

Algunos autores han reconocido que la masa ósea está condicionada de manera importante por factores genéticos, por el involucramiento y estilo de vida, y por otros factores como el consumo de calcio, la actividad física, la fuerza muscular y la composición corporal (Parsons TJ, Prentice A, Smith EA, Cole TJ, & Compston JE, 1996).

El pico de masa ósea y el porcentaje de pérdida ósea a lo largo de la edad, son dos factores que influyen en la aparición de la osteoporosis (ACSM, 1995; Specker BL, 1996). La optimización del pico de masa ósea después de la adolescencia, posibilita la prevención de la osteoporosis (Conroy BP, Kraemer WJ, Maresh CM, Fleck SJ, Stone MH, Fry AC, Miller PD et al., 1993; Nichols DL, Sanborn CF, Bonnick SL, Ben-Ezra V, Gench B, & DiMarco NM, 1994).

### 2.3.1.2 - Procesos de adaptación del hueso

Existen 3 procesos de adaptación de los huesos a lo largo de la vida, en determinados momentos puede ser que uno de ellos domine sobre los demás (Bailey DA et al., 1996). Así, el primer proceso es el **crecimiento**, que no es más que la expresión del programa genético respecto a todo el cuerpo sin tener en cuenta posibles alteraciones inducidas por estimulaciones localizadas en un punto específico. El resultado de este primer proceso se verifica por un aumento del volumen del hueso (Grimston SK, Willows ND, & Hanley DA, 1993)

El segundo proceso se denomina de **modulación**. Este proceso cambia la forma y masa ósea en respuesta a factores mecánicos (cargas). Su inicio ocurre durante el crecimiento y representa la respuesta regional a la influencia de las cargas. La resistencia ósea aumenta debido al incremento de la masa ósea y a la mejora de la arquitectura ósea. La capacidad del hueso de adaptarse a los factores de presión es mayor durante el crecimiento que durante la madurez. Este proceso de modulación puede aumentar la masa ósea pero nunca produce disminución de la misma. Para maximizar el desarrollo, este proceso debe ser optimizado con cargas apropiadas durante el período crítico de crecimiento de los huesos en los jóvenes, lo cual parece ser importante para la salud del esqueleto (Grimston SK et al., 1993).

El tercer proceso apuntado es la **remodelación**, presente en los jóvenes, es el proceso dominante para la alteración de la forma y masa del hueso en los adultos. El propósito de este proceso es sustituir el tejido óseo

dañado o destruido por tejido nuevo. Este proceso se divide en 3 fases: fase de activación, fase de resorción y fase de formación. Sin embargo, de la remodelación resulta una pequeña pérdida de hueso, ya que el nuevo nunca sustituye totalmente los niveles del anterior. Esta es la razón por la que con la edad se produce una disminución de mineral en los huesos.

## 2.3.2 – Evaluación de la densidad del hueso

En los estudios revisados encontramos esencialmente dos formas de analizar la masa ósea. Una a través del contenido de la masa ósea (CMO) y la otra a través del estudio de la densidad mineral ósea (DMO). El CMO (g) se define como la concentración absoluta de mineral presente en los huesos o en una región del hueso. La DMO ( $\text{g}/\text{cm}^2$ ) se refiere a la concentración mineral en el hueso medida por área o volumen del hueso (Bailey DA et al., 1996). Mientras que el CMO permite acceder a una información cuantitativa sobre el desarrollo del hueso, la DMO da una información más cualitativa que permite hacer el control en distintas partes corporales. Un análisis más detallado precisaría de técnicas tomográficas.

Lo habitual es que las mujeres tengan un CMO inferior al de los hombres ya que su esqueleto es generalmente anatómicamente inferior. No obstante el dimorfismo sexual en la DMO continúa siendo una controversia en los días actuales ya que depende de la zona en la que haya sido evaluada.

Los aparatos más recomendados para evaluar la DMO son los densitómetros de rayo x de doble energía (DXA). En estos, se puede evaluar la DMO en una zona corporal concreta y también en todo el cuerpo.





Fig. 2 – DEXA

### 2.3.3 - Efecto del ejercicio físico en el hueso

#### 2.3.3.1 - Respuesta adaptativa del hueso a la carga mecánica

Algunos estudios refieren que los huesos se cambian en caso de que no se encuentren adaptados a un cambio de la carga mecánica. Asimismo, el estímulo mecánico tendrá de ser superior para que posibilite una respuesta adaptativa. Bailey et al. (1996) citando Frost (1987), se refiere a este concepto como la “Teoría del Mecanostato”. De acuerdo con esta teoría, la adaptación del hueso es dependiente del involucramiento mecánico y descrito en cuatro “ventanas” referentes al tipo de estímulo mecánico. Así, la ventana más baja,

denominada zona de carga insignificante, es aquella cuya estimulación mecánica es inferior a la adecuada, aumentando el proceso de remodelación. Por encima se encuentra otra ventana definida como zona de carga fisiológica, donde la intensidad de la carga es suficiente para mantener la constitución del hueso en virtud de la remodelación para alcanzar un “steady state”, por lo cual no hay pérdida ni ganancia de masa ósea. La tercera ventana es la zona de sobrecarga, en la cual el proceso de modelación es estimulado de manera que produce un aumento y una variación de la estructura ósea como forma de respuesta a un nuevo nivel de exigencia de carga mecánica. En caso de la estimulación sea muy intensa, se entra dentro de la ventana respecto a la zona de sobrecarga patológica. Esta exagerada estimulación originará una desorganización en la estructura del hueso para que se pueda adaptar a la carga, siendo todavía necesario que más tarde sea sustituido por una estructura más organizada (Rubin CT, Gross TS, McLeod KJ, & Bain SD, 1995). Esta teoría reside en la premisa de que la adaptación del hueso es dependiente de la estimulación mecánica. De esta forma, un estímulo tendrá que tener una intensidad mínima para desencadenar el proceso de modelación. Por tanto, se concluye que existen algunos ejercicios físicos/deportes, que son más adecuados para maximizar la DMO, que otros (Grimston SK et al., 1993). Además de la “Teoría del Mecanostato”, Turner (1998) sugiere tres reglas fundamentales para la adaptación del hueso: (1) – la adaptación del hueso resulta más efectiva con cargas dinámicas que con cargas estáticas; (2) – la aplicación breve de una carga es suficiente para estimular una respuesta adaptativa del hueso; y (3) – si las células del hueso se acomodan a un tipo de carga (estímulo mecánico), disminuye su capacidad de respuesta a los estímulos habituales (así las tensiones ejercidas en el esqueleto deberán ser “anormales” para permitir un cambio en la estructura del hueso).

La estimulación mecánica del hueso a través de contracciones musculares y de impacto (“weight-bearing activities”) mientras se hace ejercicio físico, repercute positivamente en la formación y mantenimiento del hueso (Grimston SK et al., 1993; Huges VA, Frontera WR, Dallal GE, & et al., 1995; Hughes VA, Frontera WR, Dallal GE, Lutz KJ, Fisher EC, & Evans WJ, 1995; McCulloch RG, Bailey DA, Whalen RL, & et al., 1992). Es citado en diversos

estudios que a este tipo de adaptación contribuye en parte, la acción de fuerzas gravitacionales sobre la estructura esquelética (Schulteis, 1991, citado por Huges VA et al., 1995). Tanto el ejercicio físico como el entrenamiento de la fuerza, o aquellos en los cuales hay impacto como la carrera, el caminar y los saltos parecen tener un efecto osteogénico en el desarrollo y mantenimiento de la densidad y contenido óseo (Etherington J, Harris PA, Nandra D, Hart DJ, Wolman RL, Doyle DV, & Spector TD, 1996; Going S, Lohman T, Pamentier R, & et al., 1991; Nichols DL et al., 1994)

En conformidad con los resultados de diversas investigaciones, se puede afirmar que existen ejercicios físicos más adecuados para el aumento de la masa ósea que otros (Skerry TM, 1997). Por otro lado, la carga mecánica en el hueso ha sido sujeta a diversas pesquisas para determinar los mecanismos celulares desencadenados. Esto requiere la comprensión de algunas características de las cargas mecánicas, consideradas dentro de la fisiología como modelos relevantes en lo que se refiere a la influencia del ejercicio físico en la construcción del nuevo hueso. Los resultados de estos estudios llevan a pensar que la actividad física tiene una influencia positiva en la masa ósea (Kannus P et al., 1994). Por otro lado existen otros estudios que cuestionan esa influencia (Cavanaugh J & Cann E, 1988; Kirk S, Sharp CF, Elbaum N, Endres DB, Simons SM, Mohler JG, & Rude RK, 1989).

## **2.4 - Influencia del ejercicio físico en la prevención de las fracturas consecuentes de las caídas**

La osteoporosis, una enfermedad que se caracteriza por la pérdida progresiva de tejido óseo, es una de las complicaciones más comunes a medida que envejecemos (Rubin C et al., 2003). Las fracturas óseas en mayores con osteoporosis, como consecuencia de las caídas, es una de las principales preocupaciones en el ámbito de la salud pública (Kannus P et al.,

1995; Torvinen S et al., 2003). Cerca del 30 % de las personas con más de 65 años sufren alguna caída todos los años (Gillespie LD, Gillespie WJ, Robertson MC, Lamb SE, & Rowe BH, 2003). Por lo tanto, los investigadores prestan una especial atención a la mejora de la calidad y cantidad de hueso, y también a la de la prestación muscular y equilibrio corporal en los mayores (Kannus P, 1999; Kannus P & Khan KM, 2001), factores determinantes para las caídas. Algunos estudios referenciados por Rubin et al. (2003), han mostrado que después de los 50 años de edad, la densidad mineral ósea (DMO) empieza a disminuir a razón del 3% anual en algunas mujeres, y que el 70% de las mujeres con más de 80 años de edad presentaban valores de desviación estándar inferiores a 2.5 comparado con jóvenes sanas.

Actualmente, en el ámbito de la prevención de la osteoporosis, se incluyen las recomendaciones sobre el tipo de vida más adecuada, incorporando el consumo de calcio y vitamina D, el recurso a la terapia hormonal de sustitución u otras similares para reducir la pérdida ósea, y en última instancia, la utilización de agentes anti-reabsorbentes, tal como los moduladores selectivos para los receptores de estrógenos y los bifosfanatos (Eisman J, 2001). Este enfoque farmacológico no reduce la importancia que tiene el ejercicio físico sobre la prevención y terapia contra la pérdida de masa ósea (Iwamoto J et al., 2001) Tal como varios autores han descubierto, la utilización de altas tensiones en el hueso, combate la alteración ósea y conserva el hueso (Flieger J, Karachalios Th, Khaldi L, Raptou P, & Lyritis G, 1998). En consecuencia, la actividad física (estimulación mecánica fisiológica) es considerada efectiva en el control de la osteoporosis en mujeres posmenopáusicas (Flieger J et al., 1998). Así, Gutin & Kasper (1992) demostrarán que el ejercicio aeróbico vigoroso y el entrenamiento de la fuerza son los medios más efectivos en la prevención de la osteoporosis. Sin embargo, con personas mayores el estrés intenso inducido en el hueso debido a la práctica de actividades intensas (weight bearing activities) puede aumentar el riesgo de lesiones (Kallinen M et al., 1995).

---

La debilidad muscular y los problemas de equilibrio se encuentran asociados con el aumento del riesgo de caídas en las personas mayores (Hausdorff JM, Rios DA, & Edelberg HK, 2001). Las caídas domésticas, resultantes de la pérdida de equilibrio, son la principal causa de las fracturas óseas en personas mayores (Jesup JV, Horne C, Vishen RK, & Wheeler D, 2003). Tal como Topp et al. (1993) describieron, el equilibrio postural humano necesario para mantener la posición erecta de las personas mientras se encuentran paradas o en movimiento, resulta de una función compleja entre la sensación somática, el sistema vestíbulo-visual y componentes musculoesqueléticos. La disminución del equilibrio asociado al envejecimiento es atribuido habitualmente a la disminución de la capacidad funcional en uno o más de estos componentes (Jesup JV et al., 2003). Estudios previos indican que después de los cuarenta años de edad, se pierde anualmente aproximadamente el 1% de la masa muscular cada año (Jassen J, Heymsfield S, Wang Z, & Ross R, 2000). Los programas de actividad física están asociados a beneficios, como por ejemplo, aumento de la masa muscular y masa ósea, incremento de la fuerza muscular, equilibrio, flexibilidad, autoconfianza y autoestima (Seguin R & Nelson M, 2003). Así, algunos estudios han demostrado que el ejercicio físico puede mejorar el equilibrio postural en hombres y mujeres mayores (Jesup JV et al., 2003; Lord SR & Castell S, 1994). Por lo tanto, aquellas personas que tengan mayores índices de fuerza muscular en piernas, tendrán mejor equilibrio que aquellos que tengan debilidad muscular en las piernas (Ringsberg K, Gerdhem P, Johansson J, & Obrant K, 1999).

---

## 2.5 - El Ejercicio Vibratorio

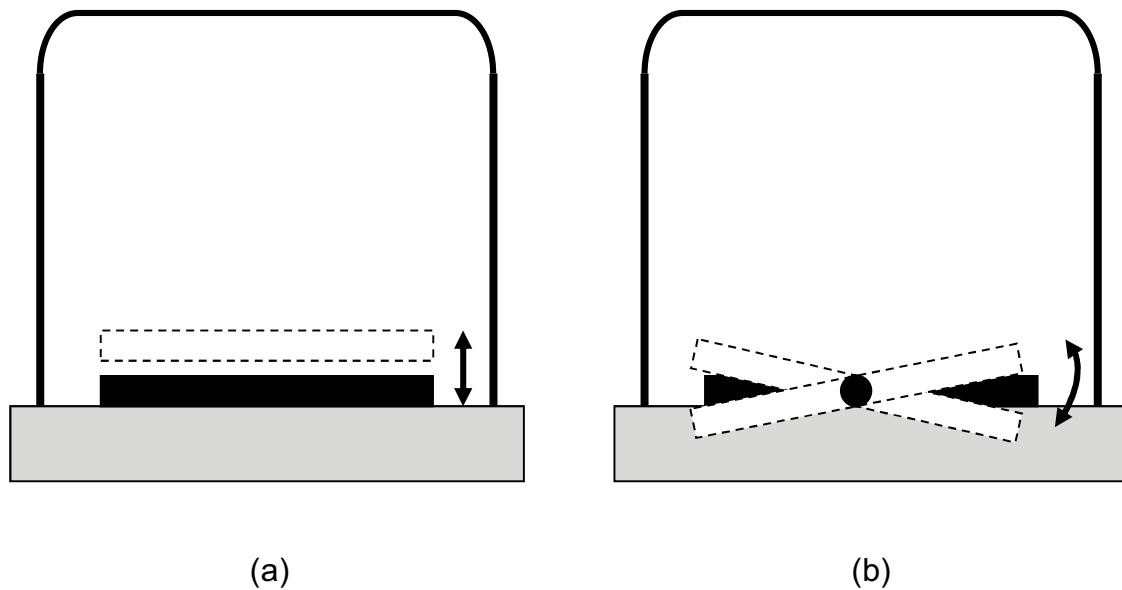
### 2.5.1 – Definición

El ejercicio físico vibratorio se basa en actividades físicas diseñadas en función de la respuesta corporal a las vibraciones que recibe. Esta vibración se puede administrar al cuerpo humano situando a los individuos en cima de plataformas que vibran a una intensidad controlada. La vibración producida por estas plataformas es una oscilación mecánica que puede ser definida mediante la determinación del valor de cinco variables de oscilación o vibración: la amplitud, la frecuencia, la magnitud o aceleración del movimiento, el tiempo de trabajo y el tiempo de descanso intermedio. La amplitud de vibración es definida como la mitad de la diferencia entre el máximo y mínimo valor del periodo oscilatorio. La frecuencia es definida como el número de ciclos por unidad de tiempo, y generalmente, se expresa en la unidad de hercios (Hz) o ciclos por segundo (Luo J, McNamara B, & Moran K, 2005). La magnitud de la vibración depende de la aceleración. El tiempo de trabajo se suele medir por periodo de esfuerzo seguido o por la suma de los periodos anteriores. Por último, el tiempo de descanso intermedio es el transcurrido entre cada periodo de trabajo dentro de cada sesión.

La metodología del entrenamiento vibratorio incluye el tipo de vibración y el protocolo del ejercicio. El tipo de vibración queda definido por el método de aplicación de la vibración (directamente o indirectamente en el músculo o tendón que pretendemos entrenar), la amplitud y frecuencia de vibración. La intensidad del estímulo vibratorio en el sistema neuromuscular está determinada por la amplitud y frecuencia (Mester J, Spitzenpfeil P, & Yue Z, 2002). El protocolo del ejercicio incluye el tipo de ejercicio, la intensidad del entrenamiento, el volumen de entrenamiento, el número y duración de los periodos de descanso y la frecuencia del entrenamiento (Luo J et al., 2005).

La postura corporal (posición del cuerpo) es otro factor que influye sobre la transmisión de la vibración a diversos lugares anatómicos. El ángulo de flexión de las articulaciones es una variable que influye en el nivel de activación neuromuscular y en la transmisión del estímulo mecánico a toda la cadena cinética corporal, desde el origen del estímulo (plataforma vibratoria) hasta cada punto del cuerpo. Si el cuerpo adopta una posición erecta, el ángulo de la rodilla y de la cadera son los que más influyen en la transmisión del impacto mecánico producido por la vibración, y dicho impacto es recibido por los músculos flexores y extensores de la rodilla, de la cadera y de la columna lumbar. Algunas investigaciones apuntan a que cuanto más flexionamos las rodillas, menor será el estímulo mecánico (Gusi N, Parraca J, Tomas-Carus P, Leal A, & Raimundo A, 2006; Rubin C et al., 2003), pero en contrapartida, la actividad muscular será aumentará (Gusi N et al., 2006).

Para aplicar este estímulo mecánico se utiliza una plataforma vibratoria especialmente concebida para este fin. Hay distintas en el mercado pero se distinguen especialmente por la forma de aplicación del estímulo. Unas aplican la vibración en la vertical (fig. 3 - a), mientras que otras (las plataformas recíprocas) lo hacen vibrando en torno a un eje central, por lo cual cuando una pierna se encuentra en la parte superior, la otra está en la parte inferior y cambian alternativamente de modo oscilatorio (fig. 3 b).



**Fig. 3** – Tipos de plataformas vibratorias: (a) la plataforma oscila uniformemente hacia arriba y hacia abajo; (b) en la técnica de vibración recíproca, los desplazamientos verticales se alternan hacia arriba y hacia abajo en los lados derecho e izquierdo del eje de la plataforma.

## 2.5.2 – Indicaciones y contraindicaciones

Aunque la utilización del ejercicio vibratorio sea un método reciente, ya se encuentran descritos en diversos estudios algunos resultados interesantes en referencia a la utilización de este método como terapia física (Rittweger J, Just K, Kautzsch K, Reeg P, & Felsenberg D, 2002) o entrenamiento deportivo (Bosco C, Colli R, Introini E, Cardinale M, Iacovelli M, Tihanyi J, Duvillard SP et al., 1999; Mester J et al., 1999; Porta J, Mas J, Paredes C, Izquierdo E, Aliaga J, & Martí D, 2003). Así, estos estudios reflejan:

- ✓ Aumentos de la fuerza en un corto espacio de tiempo.
- ✓ Mejoras de la flexibilidad y de la movilidad.
- ✓ Reducción o eliminación total del dolor.
- ✓ Entrenamiento del sistema neuromuscular.
- ✓ Mejora de la circulación sanguínea en las extremidades del cuerpo.
- ✓ Reconstrucción del hueso.
- ✓ Mejoras del equilibrio.



En cualquier caso, es poco conocida la relación dosis/respuesta óptima para obtener las indicaciones o mejoras previamente descritas en los parámetros referenciados, así como los posibles efectos secundarios por ejemplo, en los ligamentos y articulaciones.

### 2.5.2.1 – Contraindicaciones

Entre las contraindicaciones descritas destacan principalmente:

- ✓ Problemas vasculares o cardíacos.
- ✓ Prótesis en la cadera o rodilla.
- ✓ Hernias, discopatías o espondilosis.
- ✓ Presencia de heridas.
- ✓ Diabetes severa.
- ✓ Portar un marcapasos.
- ✓ Nuevas inflamaciones.
- ✓ Epilepsia.
- ✓ Haber sufrido una fractura ósea reciente.
- ✓ Embarazo.

### 2.5.2.2 – Indicaciones

Este método de entrenamiento está indicado tanto en el campo deportivo como en el tratamiento de distintas patologías. Entre las indicaciones relacionadas con la salud destacan:

En los aspectos neurológicos:

- ✓ ALS (Amiotrophic Lateral Sclerosis).
- ✓ MS (Esclerosis Múltiple).
- ✓ Síndrome Crónico de la Fatiga.

- ✓ Paresias.

En las condiciones musculares:

- ✓ Fibromialgia.
- ✓ Atrofia muscular.
- ✓ Acortamiento del músculo.

En el hueso y cartílago:

- ✓ Reumatismo.
- ✓ Osteoporosis.

En los problemas circulatorios

- ✓ RSI (Repetitive Stress Injuries).
- ✓ Distrofia postraumática.
- ✓ Edema.

### **2.5.3 – Estudios sobre la utilización del ejercicio vibratorio en la masa ósea y en el rendimiento muscular en mayores**

Recientemente, el ejercicio vibratorio aparece como un nuevo tipo de ejercicio físico con efectos en el hueso (Torvinen S et al., 2003; Verschueren S, Roelants M, Delecluse C, Swinnen S, Vanderschueren D, & Boonen S, 2004), en el equilibrio (Bruyere O, Wuidart M, Palma E, Gourlay M, Ethgen O, Richy F, & Reginster J, 2005), en la fuerza de las piernas (Delecluse C, Roelants M, & Verschueren S, 2003; Issurin V et al., 1994; Issurin V & Tenenbaum G, 1999; Torvinen S, Kannus P, Sievänen H, Järvinen T, Pasanen M, Kontulainen S, Järvinen T et al., 2002a), en rendimiento muscular (Cardinale M & Bosco C, 2003) y en terapia de dolores de espalda (Rittweger J, Just K et al., 2002). El ejercicio vibratorio es un nuevo tipo de metodología, que está siendo empleado

y testado en diferentes áreas, como por ejemplo en el entrenamiento deportivo (Bosco C et al., 1999; Issurin V et al., 1994; Issurin V. & G., 1999; Mester J et al., 1999; Porta J et al., 2003; Zinkovsky A, Zoubova I, Schmidt K, & Zwieten K, 1998), en terapias para reducir el dolor de espalda (Rittweger J, Just K et al., 2002), en terapias para prevenir la osteoporosis (Flieger J et al., 1998; Rubin C, Turner S, Bain S, Mallinckrodt C, & McLeod K, 2001; Torvinen S et al., 2003; Verschueren S et al., 2004) y en la mejora de la calidad de vida y salud general (Bosco C, Colli R, Introini E, Cardinale M, Iacovelli M, Tihanyi J, Duvillard SP et al., 1998; Bosco C, Iacovelli M, Tsarpela O, Cardinale M, Bonifazi M, Tihanyi J, Viru M et al., 2000; Delecluse C et al., 2003; Kersch-Schindl K, Grampp S, Henk C, Resh H, Preisinger E, Fialka-Moser V, & Imhof H, 2001; Rittweger J, Ehrig J, Just K, Mutschelknauss M, Kirsch, & Felsenberg D, 2002; Torvinen S, Kannus P et al., 2002a; Torvinen S, Kannus P, Sievänen H, Järvinen T, Pasanen M, Kontulainen S, Järvinen T et al., 2002b; Torvinen S, Sievanen H, Jarvinen TA, Pasanen M, Kontulainen S, & Kannus P, 2002). Se ha comprobado que este método es fácil de aplicar en personas no entrenadas, así como en personas mayores con escasa condición física. Este método de entreno está basado en la estimulación muscular oscilatoria y en la estimulación muscular refleja, la cual se transmite a todo el cuerpo a través de los pies que se encuentran en la plataforma que vibra a una determinada frecuencia y amplitud. Estudios recientes mostraron una influencia positiva del EV controlado en la habilidad de caminar, equilibrio corporal y capacidad motora (Bruyere O et al., 2005).

Luo et al. (2005), en su artículo de revisión, relata los efectos de una variedad de frecuencias comprendidas entre 15 y 137 Hz. No obstante, comúnmente, los ejercicios vibratorios son realizados con una frecuencia entre 25 y 40 Hz. Este tipo de estímulo demostró un efecto positivo y significativo en la potencia máxima (Issurin V et al., 1999) y en la altura alcanzada en el salto con contramovimiento (CMJ) (Delecluse C et al., 2003; Torvinen S, Kannus P et al., 2002a). Estos resultados son contradictorios, ya que en otros estudios sobre el EV no se han encontrado efectos positivos (Rittweger J et al., 2003; Ruitter CJ, Van Raak SM, Schilperoot JV, Hollander AP, & Haan A, 2003; Torvinen S, Sievanen H et al., 2002).

Luo et al. (2005) describieron que el rango de frecuencias entre 30-50 Hz es el más eficaz para activar el músculo. Sobre el uso de bajas frecuencias, algunos autores, sugieren que vibraciones por debajo de 20 Hz no deben ser prescritas para evitar la resonancia del cuerpo humano, ya que ese ejercicio podría provocar lesiones (Mester J, Kleinöder H, & Yue Z, 2006; Mester J et al., 2002). Varios estudios relatados por Randall et al. (1997) demostraron que la resonancia del cuerpo humano se sitúa entre 2,5 y 16 Hz (dependiendo de la región y de la posición del cuerpo). Goel et al. (1994) comprobaron que utilizando bajas frecuencias, entre 5 y 15 Hz, se puede producir la resonancia de la columna lumbar, lo que puede ser un factor desencadenante de los dolores de espalda. Sin embargo, los mismos autores dicen que las consecuencias patogénicas de una larga duración y alta intensidad de vibración (como ocurre por ejemplo en la industria, en los transportes y en la construcción) no deberán excluir el potencial del estímulo mecánico de baja intensidad como posible tratamiento de una patología músculo-esquelética. Otros autores sugieren no utilizar las bajas frecuencias (de 2 a 4.4 Hz) en el campo de la rehabilitación (Schuhfried O, Mittermaier C, Jovanovic T, Pieber K, & Paternostro-Sluga T, 2005). No obstante, sigue habiendo una falta de estudios longitudinales que analicen los efectos de bajas frecuencias de vibración en la fuerza y rendimiento muscular en humanos.

Rubin et al. (2001) describieron que los estímulos mecánicos de bajo nivel pueden ser efectivos en su transmisión tanto en el esqueleto axial como en el apendicular, y que el EV puede ser un medio para hacerlo. Es más, estos autores refieren que el EV puede ser el único medio biomecánico profiláctico de posible efecto en osteoporosis. En discordancia con algunos estudios que sugieren que una larga duración de vibraciones de alta intensidad puede inducir consecuencias patogénicas (Curry BD, Bain JL, Yang JG, & al., 2002), estudios recientes con animales demostraron que una baja magnitud y alta frecuencia de vibración es efectiva para prevenir la disminución de masa ósea en secuencia de una ovariectomía, y capaz de inducir tensiones fuertes

---

suficientes para tener un efecto anabólico en el hueso trabecular (Rubin C, Turner S et al., 2001).

## **2.5.4 – Ventajas y desventajas del uso del Ejercicio Vibratorio**

### **2.5.4.1 – Desventajas**

El conocimiento científico sigue siendo escaso respecto al efecto del ejercicio vibratorio en poblaciones distintas, atendiendo a edad, sexo, patología, etc. El efecto que provoca una determinada frecuencia y/o amplitud sobre el sistema neuromuscular, huesos, equilibrio y otras variables, sigue siendo difícil de generalizar. Otra desventaja es el precio del equipamiento. Mientras el precio de este tipo de equipamiento se mantenga como hasta ahora, sin duda para el consumidor medio el precio será elevado, impidiendo así tener una máquina vibratoria en casa.

### **2.5.4.2 – Ventajas**

El ejercicio vibratorio permite entrenar el sistema neuromuscular. Las mejoras en términos de fuerza muscular se producen en un espacio de tiempo más corto, aumentando también la tonicidad muscular. Por otro lado, este tipo de entrenamiento permite alcanzar resultados positivos en la densidad del hueso. Tal como se puede percibir en la literatura científica disponible, se puede acondicionar el programa de entrenamiento vibratorio a diferentes niveles de resistencia de los sujetos, permitiendo así, trabajar objetivos distintos. Comparando con otras metodologías de entrenamiento el tiempo

necesario para cada sesión de entrenamiento es menor. Por otro lado la utilización del aparato es extremadamente simple.

## 2.5.5 – Modelo del conocimiento teórico sobre la aplicación del ejercicio vibratorio

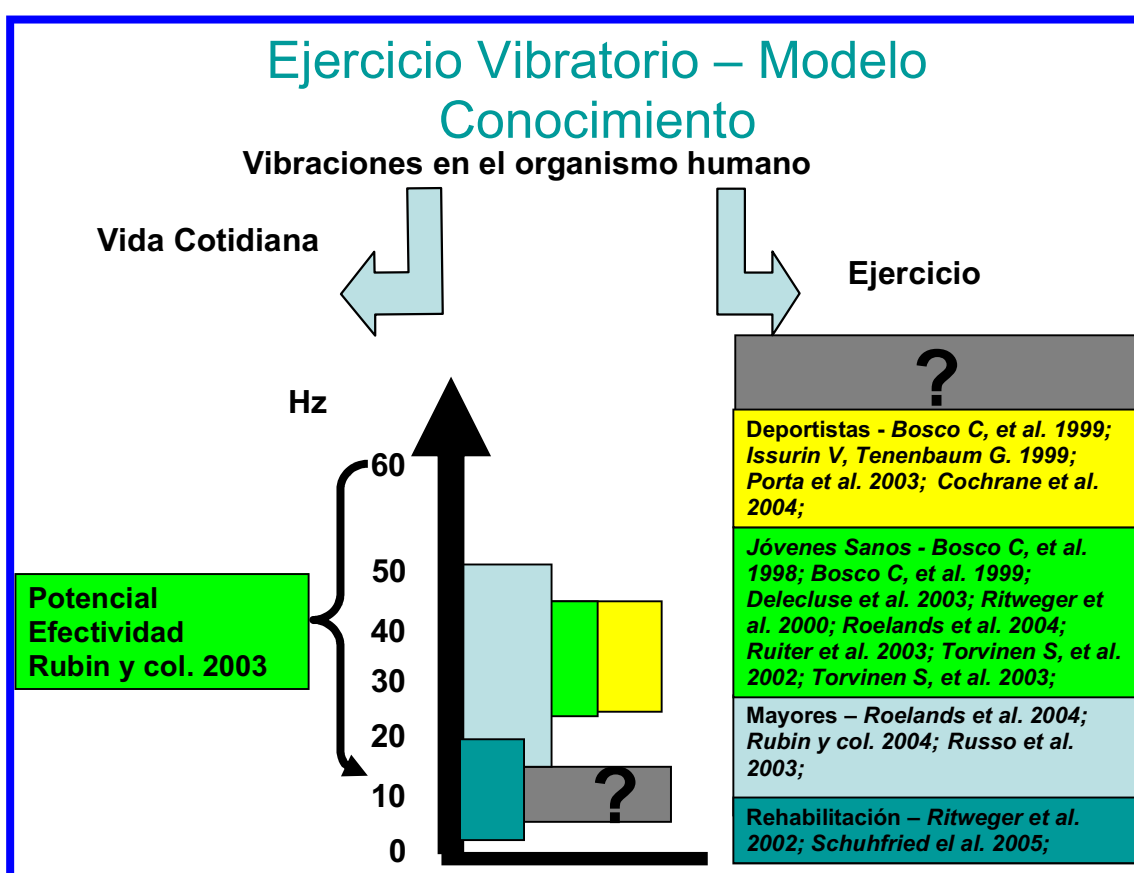
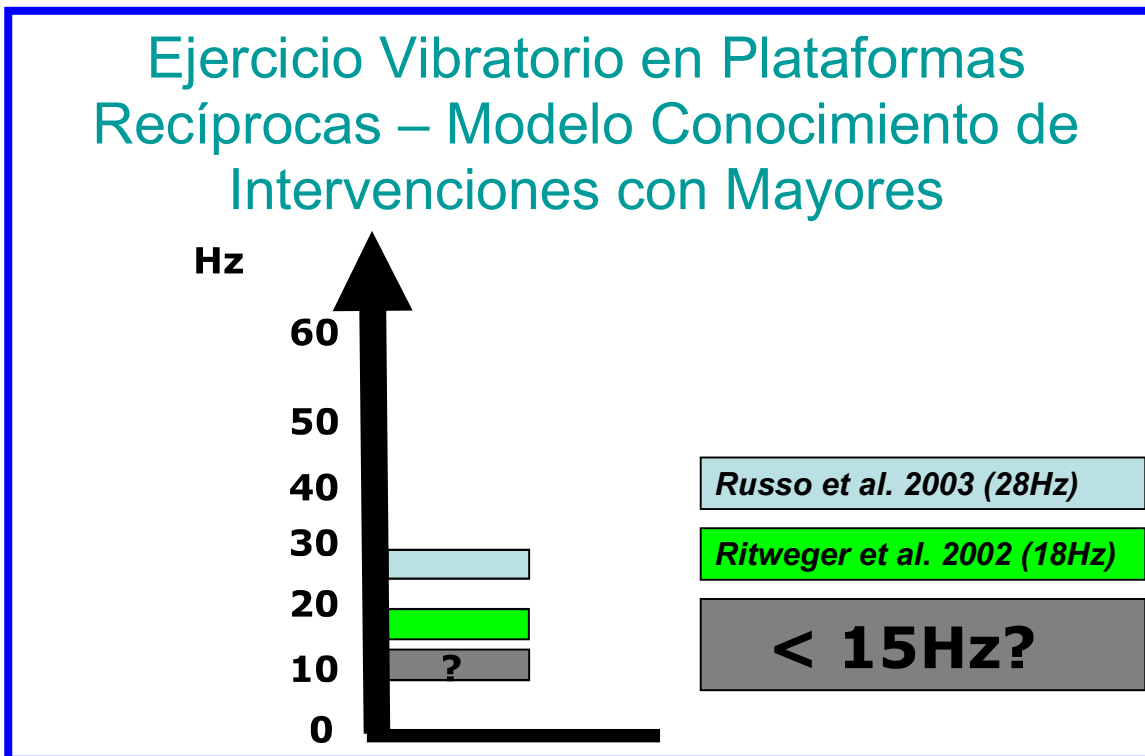


Fig. 4 – Modelo del conocimiento teórico sobre la aplicación del ejercicio vibratorio

En el siglo XVII, comenzó el interés respecto a los efectos de las vibraciones en el cuerpo humano, como por ejemplo, los dolores de los conductores de coches de caballos que eran atribuidos a vibración de los coches. Actualmente, siguen existiendo fuentes de vibración en la vida cotidiana, como por ejemplo en algunos medios de transporte (conductores de autobús, embarcaciones, motos, etc.) y otras prácticas laborales (trabajadores

de la construcción, etc.) En deportes como el automovilismo, el esquí, etc. también se producen vibraciones perjudiciales para la salud (Mester J et al., 1999). Los efectos de la vibración en el rendimiento deportivo despertaron el interés de los investigadores como medio de aumentar la prestación deportiva. Sin embargo, la relación entre las características o dosis del EV como, por ejemplo, la amplitud, la frecuencia y el tiempo de oscilación, y sus efectos sobre los niveles de salud y condición física son poco conocidos.

Rubin et al. (2003) en su investigación, implantó una clavija en el proceso espinal de la vértebra L4 y otra en el trocánter grande. Los autores concluyeron que la frecuencia de 15-35Hz es la más efectiva en términos de transmisibilidad de la vibración en la cadera y columna. Sin embargo, otros estudios de los últimos años, han mostrado las posibilidades terapéuticas de frecuencias entre 2-20Hz en la rehabilitación (Rittweger J, Just K et al., 2002; Schuhfried O et al., 2005). Respecto a los efectos del EV en personas mayores las frecuencias empleadas fueron de 15-50 Hz (Roelants M, Delecluse C, & Verschueren S, 2004; Rubin C, Recker R, Cullen R, Ryaby J, McCabe J, & McLeod K, 2004; Russo C, Lauretani F, Bandinelli S, Bartali B, Cavazzini C, Guralnik J, & Ferruci L, 2003), mientras en jóvenes y sanos encontramos descritas investigaciones en las cuales se aplicaron frecuencias de vibración de 25-45Hz (Bosco C et al., 1998, , 1999; Delecluse C et al., 2003; Rittweger J, Beller G, & Felsenberg D, 2000; Roelants M, Delecluse C, Goris M et al., 2004; Ruitter CJ et al., 2003; Torvinen S, Kannus P et al., 2002b; Torvinen S et al., 2003). En el ámbito deportivo, las frecuencias de vibración mencionadas en los diversos estudios científicos se sitúan entre 25-45Hz (Bosco C et al., 1999; Cochrane DJ, Legg SJ, & Hooker MJ, 2004; Issurin V et al., 1999; Porta J et al., 2003).



**Fig. 5** – Modelo del conocimiento teórico sobre la aplicación del ejercicio vibratorio en plataformas recíprocas en poblaciones de personas mayores

En la figura 5 se puede confirmar la falta de conocimiento del efecto del ejercicio vibratorio en poblaciones de personas mayores, utilizando a tal efecto, frecuencias bajas y recurriendo a la utilización de plataformas recíprocas, que son las que más se usan para la aplicación de este tipo de estímulo mecánico. Por lo tanto, la presente investigación será la primera en aplicar un programa de entrenamiento vibratorio de baja frecuencia en plataformas recíprocas utilizando una muestra de sujetos mayores.



### **3 – OBJETIVOS E HIPÓTESIS**

Tras la revisión bibliográfica previa se detectó un desconocimiento del efecto del EV de baja intensidad en las plataformas recíprocas que son las más usadas en la práctica profesional diaria (deportiva, clínica, etc.). Este desconocimiento es especialmente importante en el estudio de personas mayores, siendo hasta ahora desconocida la posibilidad de preservar o aumentar la masa ósea con este tipo de plataforma en personas mayores. Si los ejercicios físicos tan sencillos como el caminar, pueden ayudar a preservar la masa ósea y la condición física en personas posmenopáusicas, se persigue observar si la introducción del ejercicio vibratorio puede ser más efectivo y considerar la posibilidad de incluirlo en los programas de preservación de la salud. Por lo tanto, en este estudio pretendemos:

1 – Comparar el efecto del ejercicio vibratorio de baja intensidad y de un programa de caminar sobre la masa ósea y condición física en mujeres posmenopáusicas.

El objetivo general se concreta en objetivos más específicos:

- a) Comparar los efectos de un programa de 8 meses de entrenamiento vibratorio de baja intensidad en la DMO de la cadera y la columna con un programa de caminar en mujeres posmenopáusicas.
- b) Comparar los efectos de 8 meses de entrenamiento vibratorio de baja intensidad en la condición física con un programa de caminar en mujeres posmenopáusicas.

Las hipótesis que pretendemos contrastar son:

- 1 – El programa de ejercicio vibratorio propuesto es más eficaz que un programa de caminar para prevenir la pérdida de masa ósea.
- 2 – El programa de ejercicio vibratorio propuesto es más efectivo que un programa de caminar para mejorar la condición física.

## **4 – MATERIAL Y MÉTODOS**

## 4.1 – Muestra

En este estudio han sido seleccionadas 36 mujeres posmenopáusicas, reclutadas a través de un anuncio en la prensa local, con capacidad física para cumplir el programa de entrenamiento, y con edades comprendidas entre 60 y 80 años de edad, que cumplieron los siguientes criterios de inclusión:

- Consentimiento informado por escrito de la voluntariedad de participar en el estudio de acuerdo con las directrices en el proyecto aprobado por la Comisión de Ética de la Universidad de Extremadura y respetando la Declaración de Helsinki sobre la conducta en investigación clínica.
- Cinco años tras la aparición de la última menstruación.
- Un correcto estado de nutrición de acuerdo con las normativas de la Organización Mundial de Salud (OMS) (determinado mediante la presentación de un cuestionario), con una consumición de al menos 800 mg/día de calcio.
- Sin historial clínico de enfermedades metabólicas.
- No tomar medicamentos que incidan en el metabolismo óseo o fuerza muscular, así como no haber sufrido ninguna fractura ósea (en los miembros inferiores y columna).
- Sin historial clínico de patologías cardiovasculares (trombosis, isquemia, etc.) o del aparato locomotor (dolores de espalda, artrosis, meniscopatías, etc.) que contraindiquen el ejercicio vibratorio o las pruebas de evaluación previstas.
- No ingerir más de 4 consumiciones (vasos o copas) de bebidas alcohólicas por semana.
- No ser fumadoras.
- No tener antecedentes de caminar más de 3 horas semanales al menos en los dos años anteriores.
- Tener la capacidad para cumplir el protocolo de entrenamiento del estudio.

Los criterios de exclusión fueron:

- Sufrir de hernia, o haber sufrido una trombosis.
- Haber hecho alguna intervención para sostener la osteopenia en los últimos 6 meses.
- Estar comprometida en una actividad física de elevado impacto al menos 2 veces por semana y con una intensidad superior que la marcha.
- Tener historial clínico de problemas músculo-esqueléticos.

Las personas seleccionadas se distribuyeron de forma aleatoria por sorteo en números en uno de los dos grupos. Dieciocho (GEV) han entrenado a lo largo de 8 meses en una plataforma vibratoria (96 sesiones de ejercicio vibratorio) y las restantes 18 (GC) han participado en un programa de caminar. La frecuencia del entrenamiento del GEV ha sido de 3 veces por semana con al menos un día de descanso entre cada dos sesiones. El GC caminó una hora al menos tres días por semana.

Las participantes de la muestra pertenecen al distrito de Évora (Portugal) y no modificaron sus hábitos de actividad física, nutrición o vida cotidiana.

Este estudio fue aprobado por el Comité de Bioética de la Universidad de Extremadura como ensayo clínico el 15 de Septiembre de 2004 con número de referencia 15/04, y con el acrónimo EVCOM/15/04 registrado en la OMS con el número ISRCTN76235671.

## 4.2 – Procedimientos

Todos los sujetos fueron sometidos a dos evaluaciones: la primera antes de la intervención del programa de actividad física de 32 semanas y la segunda, al finalizar el mismo. Cada evaluación incluyó: varios cuestionarios, una batería de pruebas de condición física, una evaluación de fuerza neuromuscular en un dinamómetro isocinético y una densitometría ósea.

## 4.2.1 – Cuestionarios a aplicados

Para acceder a diversa información relevante para la aplicación de nuestro estudio se recurrió a los siguientes cuestionarios:

Tabla II - Cuestionarios aplicados

Cuestionario	Ámbito
<i>General</i>	- Datos socio-demográficos (edad, sexo, habilitaciones, etc.) - Historial clínico (medicamentos)
<i>EQ-5D</i>	- Salud funcional relacionado con la calidad de vida
<i>SF-36</i>	- Salud relacionada con la calidad de vida
<i>MiniNutritional Assessment</i>	- Evaluación del estado nutricional

## 4.2.2 – Batería de pruebas de condición física

En primer lugar, se evaluó la talla y el peso de las participantes. Las medidas fueron registradas con los sujetos en posición erecta según las técnicas tradicionales. En segundo lugar, cada participante efectuó la prueba de salto vertical (Gusi N, Marina M, Nogués J, Valenzuela A, Nàcher S, & Rodriguez FA, 1997) con contra-movimiento y ayuda de brazos partiendo de una posición erecta y ambos brazos extendidos hacia arriba (representativo de la fuerza explosiva del tren inferior). Cada participante flexionó rápidamente las rodillas hasta 120° en coordinación con el balanceo hacia abajo de ambos brazos sincronizados para en un rápido contra-movimiento efectuar un salto vertical mediante la extensión de las piernas con ayuda de los brazos hacia arriba, registrándose el tiempo de vuelo (ms) mediante una plataforma de contactos Ergo-Jump (Bosco System, Italy). En tercer lugar, cada voluntaria efectuó la prueba de levantarse y sentarse de una silla de 40 cm de altura

requiriéndose que las participantes lo hicieran lo más rápidamente posible (Bean J, Herman S, Kiely DK, Callahan D, Mizer K, Frontera WR, & Fielding RA, 2002). La prueba se inició en la posición erecta con los brazos cruzados en frente del cuerpo y se midió el tiempo empleado en sentarse y levantarse 3 veces. En cuarto lugar, se evaluó el equilibrio postural utilizando la prueba “Flamingo Ciego” (Rodríguez FA, Gusi N, Valenzuela A, Nàcher S, Nogués J, & Marina M, 1998). El sujeto se debe mantener en pie de forma equilibrada apoyado en una pierna (puede escoger aquella que le de mejor estabilidad), mientras la otra pierna se encuentra flexionada por la rodilla y sostenida al nivel del tobillo por la mano del mismo lado del cuerpo, manteniendo siempre los ojos cerrados. La pierna que soporta el peso del cuerpo está extendida y la planta del pie completamente en contacto con el suelo. En esta prueba de posición estática, se registra el número de intentos que el sujeto necesita de tocar en la pared para mantener su equilibrio durante los 30 segundos (el cronometro fue parado siempre que los sujetos no cumplían con las condiciones de realización del protocolo). Por último, se registró el tiempo necesario para caminar 4 metros lo más rápido posible (Rantanen T, Guralnik JM, Ferruci L, Leveille S, & Fried LP, 1999). Dos células fotoeléctricas (Browser Timing Systems, USA) se colocaron a 30 cm en la vertical, una en la línea de inicio de la prueba y la otra en la línea final a 4 metros de distancia. Se registró el tiempo transcurrido entre la abertura del circuito en la primera célula y la segunda. Todas estas pruebas fueron realizadas 3 veces y se anotó el mejor de los 3 intentos efectuados con la técnica correcta.

### 4.2.3 – Función neuromuscular

Las personas viajaron desde Évora hasta la Facultad de Ciencias del Deporte de la Universidad de Extremadura en Cáceres para la medición de la fuerza isocinética de ambas las piernas donde se utilizó un Dinamómetro Isocinético (Biodex System-3, Biodex Corp., Shirley, NY, USA). Las participantes fueron sentadas y atadas en la silla del dinamómetro de modo que el eje de su rodilla fuera coincidente con el eje del dinamómetro según las

---

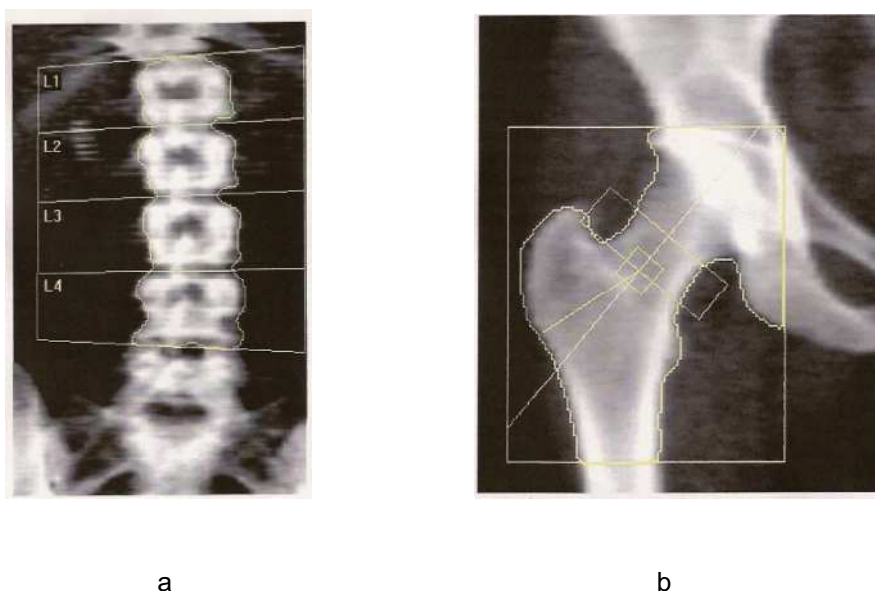
instrucciones estándar (Perrin DH, 1993). Los ajustes de la posición de la silla fueron registrados para cada sujeto de forma que permitieran mantener esos mismos ajustes en la segunda evaluación. En el inicio de cada prueba a los sujetos se les pidió que relajasen su pierna para pesar la extremidad y así corregir los efectos de la gravedad en su pierna. Antes de empezar cada prueba, los sujetos hicieron algunas repeticiones con el propósito de calentar los músculos de sus piernas. En cada ejercicio las participantes fueron verbalmente animadas para efectuar su máximo esfuerzo. El ángulo de la flexión-extensión fue de  $80^\circ$  con el  $0^\circ$  en la extensión completa. Cada prueba fue realizada en primero lugar con la pierna dominante y posteriormente con la otra. Los sujetos ejecutaron 3 veces los movimientos completos a una intensidad moderada antes de cada prueba para familiarizarse con el movimiento y la velocidad. Las personas fueron evaluadas en 3 repeticiones a una velocidad angular de  $60^\circ/s$  y en 30 repeticiones a  $300^\circ/s$  mediante contracciones concéntricas en la extensión y flexión de la rodilla. Posteriormente, efectuaron 3 repeticiones a una velocidad angular de  $60^\circ/s$  alternando la extensión en contracciones concéntricas y la flexión en acción excéntrica. Esta última prueba fue siempre realizado al final para evitar la disminución en la potencia muscular que se sabe ocurrir después de un ejercicio excéntrico (Michaut A, Pousson M, Babault N, & J., 2002). Los participantes descansaron 2 minutos entre cada serie para evitar que la fatiga influyese de forma relevante en las variables recogidas. En este estudio se presentan los datos de los extensores de la rodilla en acción concéntrica o excéntrica siguientes: el máximo momento de fuerza o pico torque, realizado entre las 3 primeras repeticiones de cada serie, y la potencia media en la serie de 30 repeticiones de  $300^\circ/s$ .



## 4.2.4 – Densitometría ósea

Las personas viajaron desde Évora hasta Cáceres, más concretamente a una clínica dónde hicieron las densitometrías. Estas han sido hechas con un Densitómetro de Rayos X de doble energía (Norland ExcelPlus; Norland Inc., Fort Atkinson, USA).

Para evaluar el contenido (g) y densidad mineral ósea ( $\text{g}/\text{cm}^2$ ), de la cadera y de la columna lumbar, se ha utilizado la versión 4.66 del software (“high speed performance”). Para efectuar las densitometrías se ha colocado a los sujetos en posición estándar de acuerdo con el protocolo del examen en curso. Los lugares anatómicos estudiados fueron la columna lumbar, más específicamente la L2-L4 (fig 6 - a), y el fémur proximal del lado derecho. En éste se observó el cuello del fémur, el trocánter y el triángulo de wards (fig. 6 – b). Todos los exámenes han sido hechos por el mismo técnico experimentado.



**Fig. 6** - Lugares anatómicos estudiados

## 4.2.5 – Programa de entrenamiento del GEV

El programa de entrenamiento tuvo una duración de 32 semanas. La frecuencia del entrenamiento fue de tres sesiones semanales con al menos un día de descanso cada dos sesiones. El ejercicio vibratorio fue aplicado a los sujetos en posición erecta con los pies sobre la plataforma. En cada sesión, se administró la vibración a través de una plataforma vibratoria Galileo 2000 (Novotec GmbH, Pforzheim, Germany) (fig. 7). Los sujetos se colocaron en la plataforma con sus pies paralelos en relación al eje de la misma, que les transmitió una oscilación lateral en todo su cuerpo. Durante el entrenamiento, los sujetos no calzaron ningún tipo de zapatillas deportivas con el fin de estandarizar el impacto recibido y evitar así el efecto amortiguador del impacto causado por su utilización. El ángulo de las rodillas fue determinado a 120 ° de flexión. La aceleración tridimensional fue monitorizada utilizando un acelerómetro tri-axial (TSD109F, tridimensional acelerómetro 5G, Biopac Systems, USA), situado en la piel a la altura de la vértebra L3 y normalizado por el peso corporal (kg).

El programa fue supervisado por dos graduados en ciencias de la actividad física y del deporte.



Fig. 7 – Plataforma Vibratoria Galileo 2000

Durante las primeras dos semanas de entrenamiento, el GEV realizó tres series de un minuto con una intensidad de vibración de 12,6 Hz, cumpliendo 1 minuto de pausa entre cada una. La carga del entrenamiento aumentó paulatinamente a lo largo de las 6 semanas siguientes, a un ritmo de 1 serie cada dos semanas hasta lograr las 6 series que se pretendían en el presente estudio. La amplitud seleccionada ha sido de 3 mm. La duración de cada entrenamiento fue de 30 minutos e incluyó un calentamiento de 10 minutos, compuesto por 5 minutos pedaleando en un ciclo ergómetro (Monark) a 25 W y seguido de 5 minutos de ejercicios de estiramiento de los miembros inferiores.

## 4.2.6 – Programa de entrenamiento del GC

Los sujetos pertenecientes al grupo de caminar (GC) realizaron su programa de ejercicio en un parque público. Cada sesión duró cerca de una hora y consistía en caminar a una velocidad confortable. La frecuencia semanal fue de 3 sesiones. Al final de cada sesión realizaban ejercicios de estiramiento muscular. Este grupo fue supervisado por dos asistentes, graduados en ciencias de la actividad física y del deporte.

## 4.2.7 – Análisis Estadístico

Los datos fueron codificados asignando un código a cada sujeto para preservar su anonimato. La media y la desviación estándar se presentan en las estadísticas descriptivas. Las características de los dos grupos han sido comparadas en la línea base con el T-test para medidas independientes. La normalidad de los datos fue inicialmente examinada usando la prueba Kolmogorov-Smirnov aplicando la significación Lilliefors. La significación de los cambios intra-grupo fue analizada con la prueba T-test para medidas repetidas. Los efectos del tratamiento, diferencia de los cambios de ambos grupos, en las variables de masa ósea y del equilibrio, han sido testados empleando un

análisis de la varianza (ANOVA) para medidas repetidas ajustadas por el peso del cuerpo, edad y valores iniciales. En las variables de fuerza y prestación muscular, se utilizó un análisis de varianza (ANOVA) para medidas repetidas, ajustada por la edad y peso corporal. En el estudio de la variable Salto Vertical, utilizamos igualmente como co-variable la talla.

Los resultados han sido considerados estadísticamente significativos cuando el valor de  $p$  fue menor que 0.05.

Los análisis estadísticos han sido realizados utilizando el programa estadístico "Statistical Package for the Social Sciences" (SPSS 14).

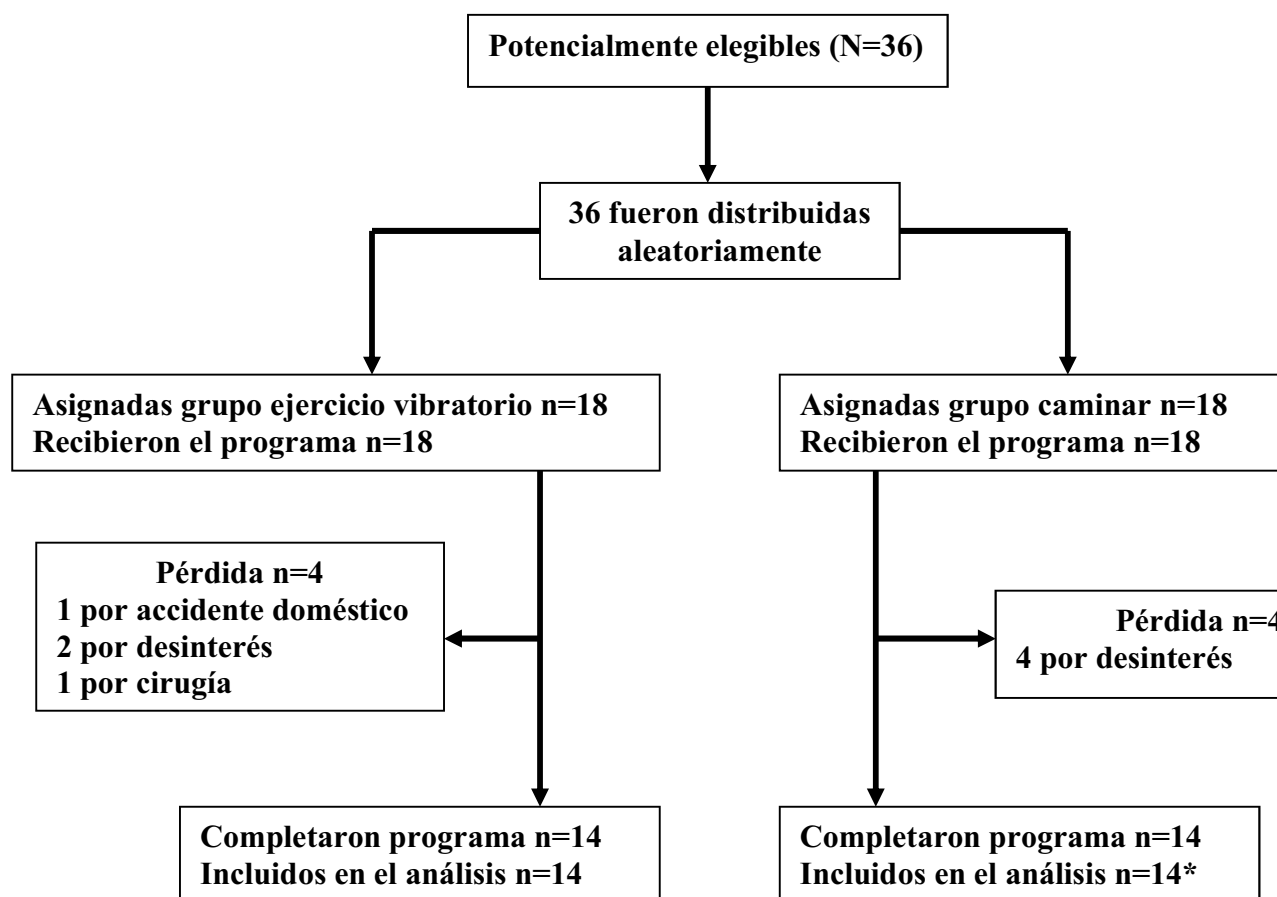
## **5 - RESULTADOS**

## 5.1 – Seguimiento del programa

A través de los medios de comunicación regionales (prensa y radio), se hizo un llamamiento a las mujeres posmenopáusicas de la región de Évora (Portugal). Una vez informadas sobre el protocolo y de los posibles beneficios y riesgos, consintieron por escrito participar voluntariamente en la investigación.

Las 36 mujeres fueron distribuidas aleatoriamente en un grupo de ejercicio vibratorio (GEV) o un grupo de caminar (GC). El programa de entrenamiento duró 32 semanas. Cuatro miembros del GEV no completaron el programa. Uno por sufrir un accidente doméstico que le provocó daños impeditivos para completar el programa, dos abandonaron alegando desinterés y otro tras haber sufrido una intervención de cirugía con un periodo de recuperación largo. Finalmente cuatro mujeres del GC tampoco completaron el programa, todas ellas alegando desinterés. El análisis estadístico se realizó considerando catorce mujeres en cada grupo (Figura 8). Así, se observó un 77.7% de seguimiento de los programas de caminar y vibratorio.

Al final del estudio, en las mujeres que completaron el programa y fueron analizadas, la media de presencias del GEV fue de  $2.7 \pm 0.7$  veces por semana, mientras el GC registró una media de  $2.8 \pm 0.8$ .



\* - Una de las mujeres del grupo de caminar, enfermó y no pudo asistir a las mediciones de condición física y en el dinamómetro isocinético al final de los 8 meses, por lo cual esta no fue incluida en el tratamiento de estos datos, pero tan sólo en el tratamiento de los datos de masa ósea.

**Figura 8-** Diagrama del experimento

## 5.2 – Características de los participantes

La tabla III muestra que ambos grupos presentan características similares respecto a la línea de base. Las informaciones recogidas a través de los cuestionarios realizados, no reflejaron cambios en la nutrición, en el consumo de calcio y en la actividad física durante el estudio.

**Tabla III - Características de la muestra en el inicio de la intervención\* (N de GEV = 14; N de GC = 14)**

Variables	GEV	GC	P†
Edad (años)	66 ± 6	66 ± 4	.916
Años posmenopáusica	11 ± 6	12 ± 5	.720
Altura (cm)	156 ± 4	157 ± 5	.429

\* Valores expresados como media ± desviación estándar  
 †P para T para medidas independientes.

### 5.3 – Batería de test de condición física

La tabla IV muestra los resultados de los dos grupos en una batería de condición física relacionada con la salud y calidad de vida. Una persona del grupo de caminar no pudo ser evaluada posteriormente al entreno en la batería de condición física por padecer de gripe durante el proceso de medición. El ejercicio vibratorio fue beneficioso para mejorar el equilibrio (28.7%) y la capacidad de salto (7.1%). Por otro lado, el programa de caminar fue productivo para mejorar la velocidad de caminar 4 metros (16.1%) y la capacidad funcional de sentarse y levantarse de una silla (16.9%). Al final de las 32 semanas de entrenamiento, el GEV mejoró significativamente la capacidad de salto vertical y el equilibrio monopodal. En el mismo periodo, el programa de caminar mostró beneficios de la velocidad máxima caminando 4 metros y en la capacidad funcional para levantarse y sentarse en una silla. Tras el programa, el peso de los sujetos del GEV se redujo en 2 kg ( $p = 0.040$ ), mientras el GC no se registraron cambios.



**Tabla IV. Comparación de un programa de ejercicio vibratorio (N=14) con uno de caminar (N=13) en la batería de test de condición física en mujeres posmenopáusicas. Resultados en el inicio de la intervención y alteraciones ocurridas al final de 8 meses\***

Prueba	Línea base			8 meses			Alteraciones a los 8 meses			Efecto del programa	P†
	WBV		WC	WBV		WC	WBV		WC		
	Media ± SD	Media ± SD	Media ± SD	Media ± SD	Media ± SD	Media ± SD	Media (95%IC)	Media (95%IC)	Media (95%IC)		
Tiempo caminar 4 m (sec)	2.7 ± 0.4 <sup>a</sup>	3.1 ± 0.5 <sup>a</sup>	2.8 ± 0.5	2.6 ± 0.4	0.15 (-0.24 a 0.54)	-0.47 (-0.67 a -0.29) <sup>b</sup>	0.62 (0.20 a 1.05)			.011	
Levantar y sentar 3 veces de una silla (sec)	6.5 ± 0.7 <sup>a</sup>	7.1 ± 0.7 <sup>a</sup>	6.2 ± 0.8	5.9 ± 0.6	-0.27 (-0.73 a 0.19)	-1.23(-1.61 a -0.84) <sup>b</sup>	0.96 (0.38 a 1.53)			.005	
Salto Vertical (ms)	308 ± 46	318 ± 46	330 ± 33	317 ± 48	21.50 (0.46 a 42.54) <sup>b</sup>	-2.00 (-7.08 a 3.08)	23.50 (2.01 a 44.91)			.041	
Flamenco ciego (caídas/30 sec)	9.4 ± 5.1	11.3 ± 3.9	6.7 ± 4.1	11.8 ± 3.7	-2.71 (-5.69 a -0.12)	0.50(-0.89 a 0.60)	-3.21 (-6.26 a -0.17)			.023	
Peso (kg)	70.1 ± 11.6	67.2 ± 6.9	67.9 ± 9.6	67.1 ± 7.1	-2.23 (-4.34 a -0.12) <sup>b</sup>	-0.14 (-0.89 a 0.60)	-2.09 (-4.28 a 0.11)			.072	

\* Valores expresados como media ± desviación estándar y 95% intervalo de confianza

†P para análisis de varianza para medidas repetidas ajustadas por el valor de línea base y edad para comparar las diferencias entre grupos al final de los 8 meses.

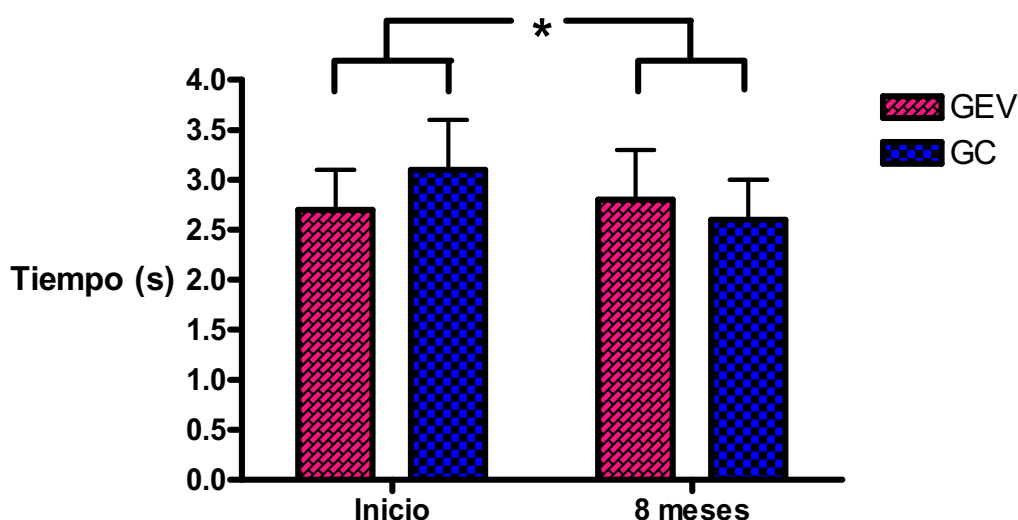
<sup>a</sup> p valores en línea base entre grupos < .050

<sup>b</sup> p intra grupo < .050

El efecto comparativo del tratamiento de vibración respecto al de caminar mostró efectos estadísticamente significativos en la capacidad funcional para caminar (+ 20%), capacidad funcional para levantarse y sentarse de una silla (+ 12%), salto vertical (+ 7%) y equilibrio (-33%).

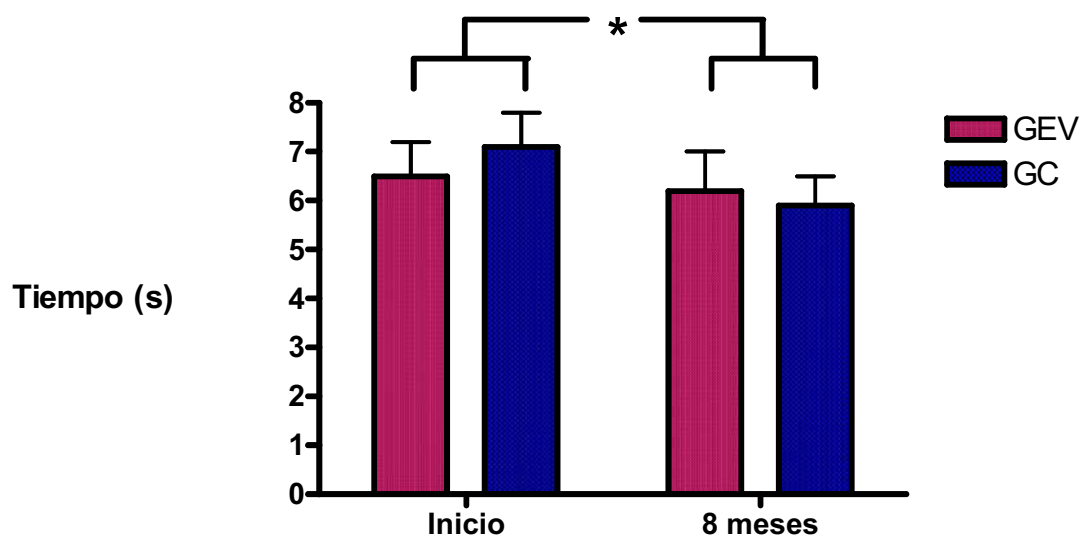
A continuación presentamos los efectos comparativos del tratamiento de vibración respecto al de caminar en la batería de condición física. Los programas han mostrado diferencias significativas entre ambos grupos en cuatro de las cinco pruebas seleccionadas (Figuras 9, 10, 11 y 12).

En la prueba de caminar 4 metros, se encontraron efectos o diferencias de los cambios entre grupos estadísticamente significativos (Figura 9).



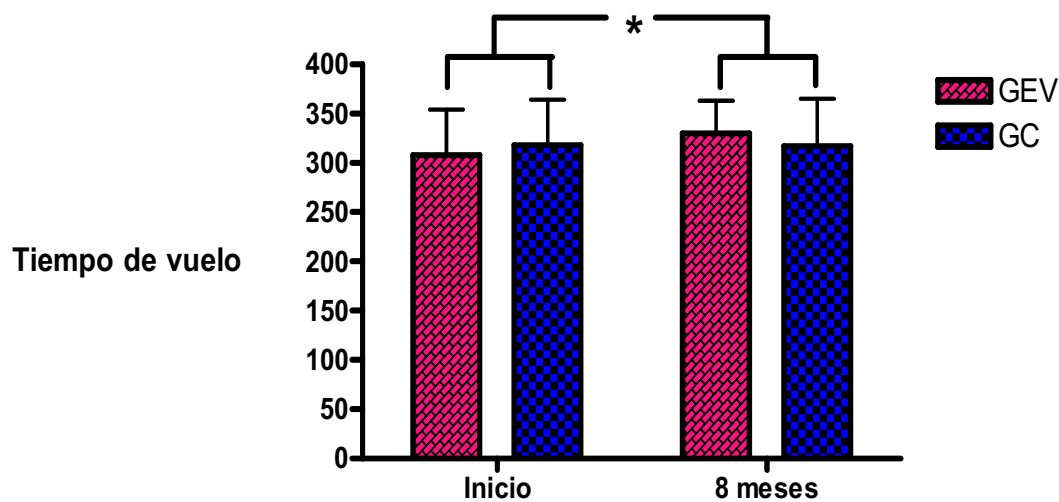
**Figura 9.** Tiempo invertido para caminar 4 metros. \*  $p < 0.05$  de ANOVA para analizar los efectos del tratamiento

También en el tiempo invertido para levantarse y sentarse en una silla, se observaron cambios significativos (Figura 10).



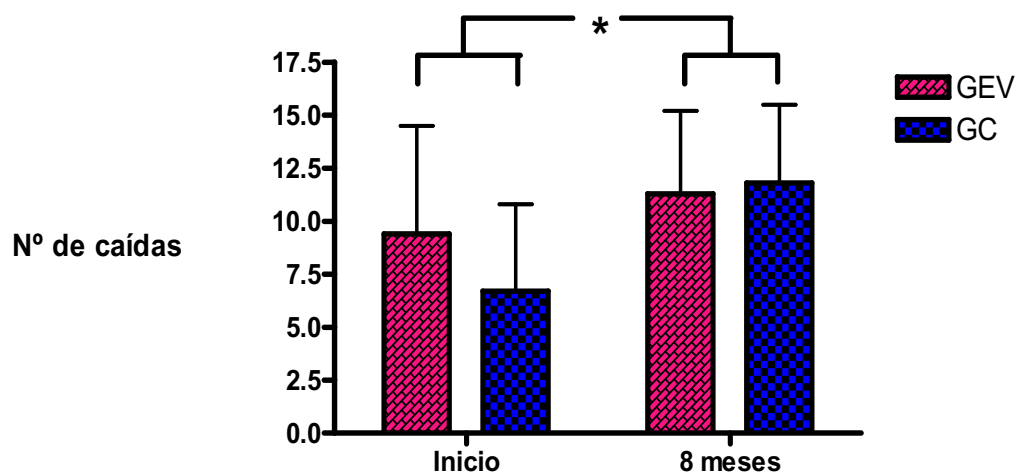
**Figura 10.** Tiempo invertido para sentarse y levantarse 3 veces de una silla. \*  $p < 0.05$  de ANOVA para analizar los efectos del tratamiento

Respecto al salto vertical, también observamos cambios significativos entre grupos cuando comparamos los resultados al final con los iniciales (Figura 11).



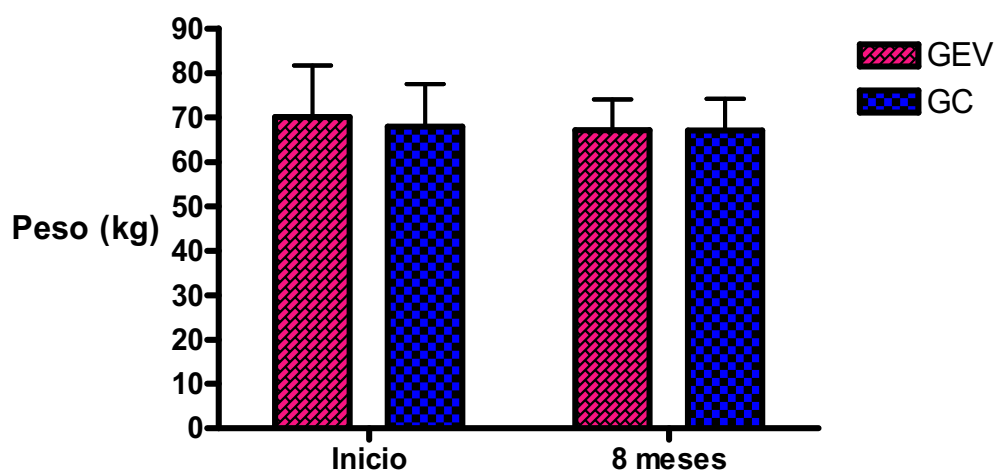
**Figura 11.** Tiempo de vuelo en el salto vertical. \*  $p < 0.05$  de ANOVA para analizar los efectos del tratamiento

A los 8 meses de intervención se observaron diferencias significativas entre grupos en el equilibrio monopodal (Figura 12)



**Figura 12.** Nº de caídas en 30 segundos en la prueba de equilibrio monopodal. \*  $p < 0.05$  de ANOVA para analizar los efectos del tratamiento

Los 8 meses de tratamiento no provocaron diferencias entre los grupos en el peso (fig. 13).



**Figura 13.** Peso. \*  $p < 0.05$  de ANOVA para analizar los efectos del tratamiento

## 5.4 – Función neuromuscular valorada con Dinamometría Isocinética

La tabla V presenta los resultados de la fuerza bilateral máxima de los músculos extensores de rodilla normalizados por el peso (excepto en la potencia media en velocidades altas). Un sujeto del grupo de caminar no acudió a la medición de la función neuromuscular al final de los 8 meses alegando enfermedad. Esta es la razón por la cual en la tabla sólo presentamos resultados de 13 sujetos.

Al final de los 8 meses se verificó una tendencia a disminuir la fuerza neuromuscular en el GEV. Sin embargo, el efecto del tratamiento no mostró disminución significativa del grupo vibratorio respecto al de caminar en la fuerza isocinética realizada a 60°/s (tanto en acción concéntrica como en excéntrica), ni tampoco en la fuerza isocinética a 300°/s.

Por otro lado, el GC mostró tenues mejoras (del 1 al 7%) en la mayor parte de las acciones musculares y velocidades estudiadas, excepto en acciones excéntricas, aunque este incremento nunca fue significativo.

**Tabla V. Comparación de un programa de ejercicio vibratorio (N=14) con uno de caminar (N=13) en la fuerza isocinética de los extensores de las rodillas en mujeres posmenopáusicas. Resultados en el inicio de la intervención y alteraciones ocurridas al final de 8 meses\***

Assessment	Línea base			8 meses			Alteraciones a los 8 meses			Efecto del programa PT
	WBV	WC	WBV	WBV	WC	WC	WBV	WBV	WC	
	Media ± SD	Media ± SD	Media ± SD	Media ± SD	Media ± SD	Media (95%IC)	Media (95%IC)	Media (95%IC)	Media (95%IC)	
Extensores (ac) 60°/s pierna derecha (N·m·kg <sup>-1</sup> )	1.51 ± 0.28	1.34 ± 0.28	1.36 ± 0.25	1.34 ± 0.22	1.34 ± 0.22	-0.16 (-0.34 a 0.03)	-0.00 (-0.11 a 0.10)	-0.15 (-0.36 a 0.05)	.149	
Extensores (ac) 60°/s pierna izquierda (N·m·kg <sup>-1</sup> )	1.43 ± 0.26	1.26 ± 0.22	1.38 ± 0.22	1.28 ± 0.18	1.28 ± 0.18	-0.05 (-0.16 a 0.54)	0.02 (-0.07 a 0.11)	-0.07 (-0.21 a 0.06)	.264	
Extensores (ac) 300°/s pierna derecha (N·m·kg <sup>-1</sup> )	0.70 ± 0.17	0.61 ± 0.13	0.67 ± 0.13	0.64 ± 0.12	0.64 ± 0.12	-0.03 (-0.11 a 0.04)	0.03 (-0.02 a 0.08)	-0.06 (-0.15 a 0.02)	.122	
Extensores (ac) 300°/s pierna izquierda (N·m·kg <sup>-1</sup> )	0.68 ± 0.13	0.62 ± 0.12	0.69 ± 0.12	0.63 ± 0.11	0.63 ± 0.11	0.01 (-0.03 a 0.05)	0.01 (-0.03 a 0.04)	0.00 (-0.05 a 0.05)	.932	
Potencia media de los extensores (ac) pierna derecha 300°/s (watts)	47 ± 11	44 ± 15	42 ± 9	47 ± 14	47 ± 14	-4 (-11 a 3)	3 (-2 a 8)	-7 (-16 a 1)	.108	
Potencia media de los extensores (ac) pierna izquierda 300°/s (watts)	46 ± 9	42 ± 11	46 ± 7	44 ± 9	44 ± 9	0 (-5 a 6)	2 (-3 a 5)	-1 (-8 a 6)	.607	
Extensores (ae) 60°/s pierna derecha (N·m·kg <sup>-1</sup> )	1.85 ± 0.48	1.73 ± 0.69	1.72 ± 0.76	1.66 ± 0.57	1.66 ± 0.57	-0.13 (-0.63 a 0.37)	-0.06 (-0.30 a 0.17)	-0.07 (-0.60 a 0.47)	.661	
Extensores (ae) 60°/s pierna izquierda (N·m·kg <sup>-1</sup> )	2.00 ± 0.59	1.66 ± 0.62	1.85 ± 0.49	1.52 ± 0.47	1.52 ± 0.47	-0.16 (-0.57 a 0.26)	-0.14 (-0.49 a 0.21)	-0.02 (-0.54 a 0.50)	.793	

\* Valores expresados como media ± desviación estándar y 95% intervalo de confianza

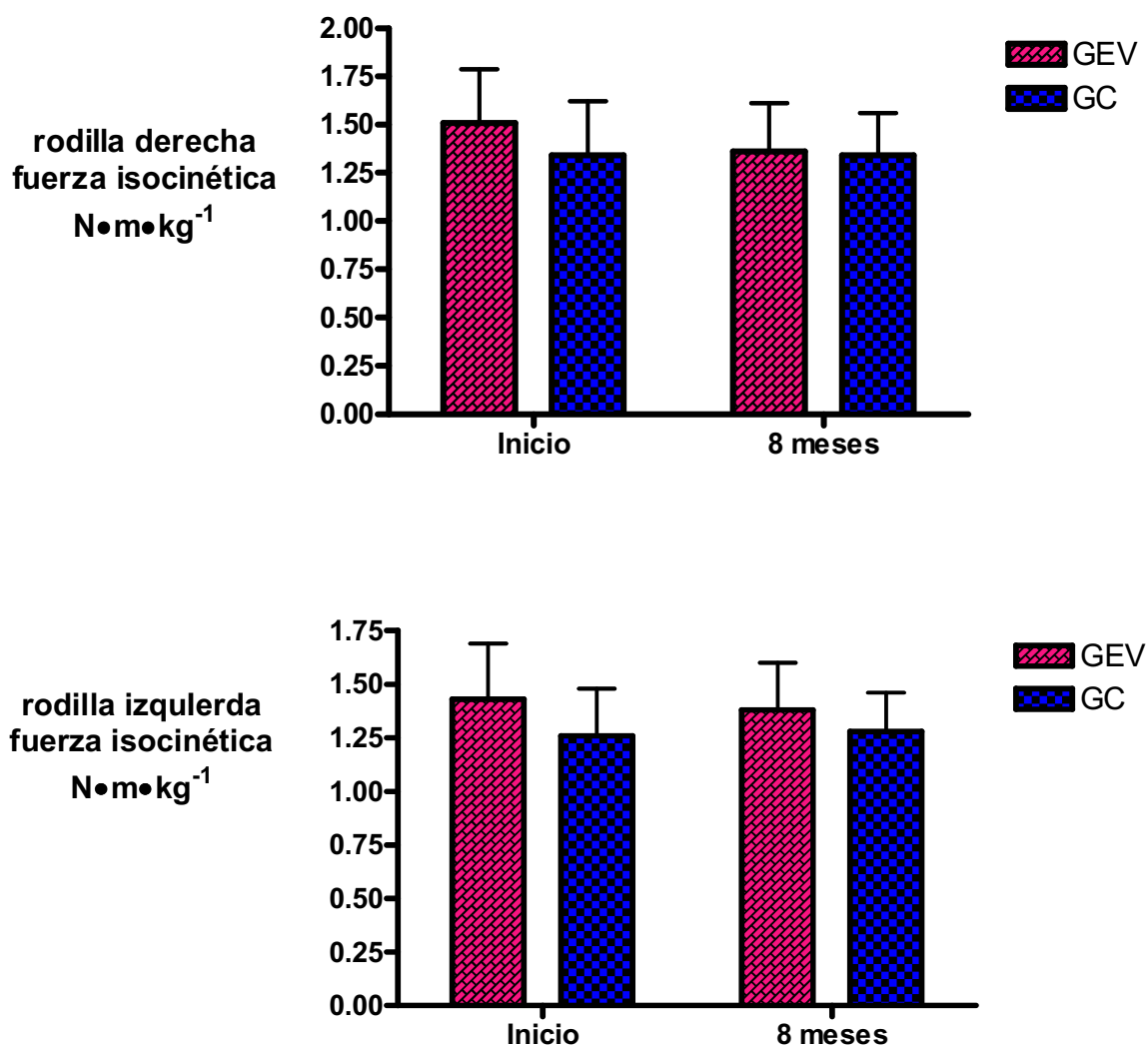
†P para análisis de varianza para medidas repetidas ajustadas por el valor de línea base y edad para comparar las diferencias entre grupos al final de los 8 meses.

<sup>a</sup> p valores en línea base entre grupos < .050

<sup>b</sup> p intra grupo < .050

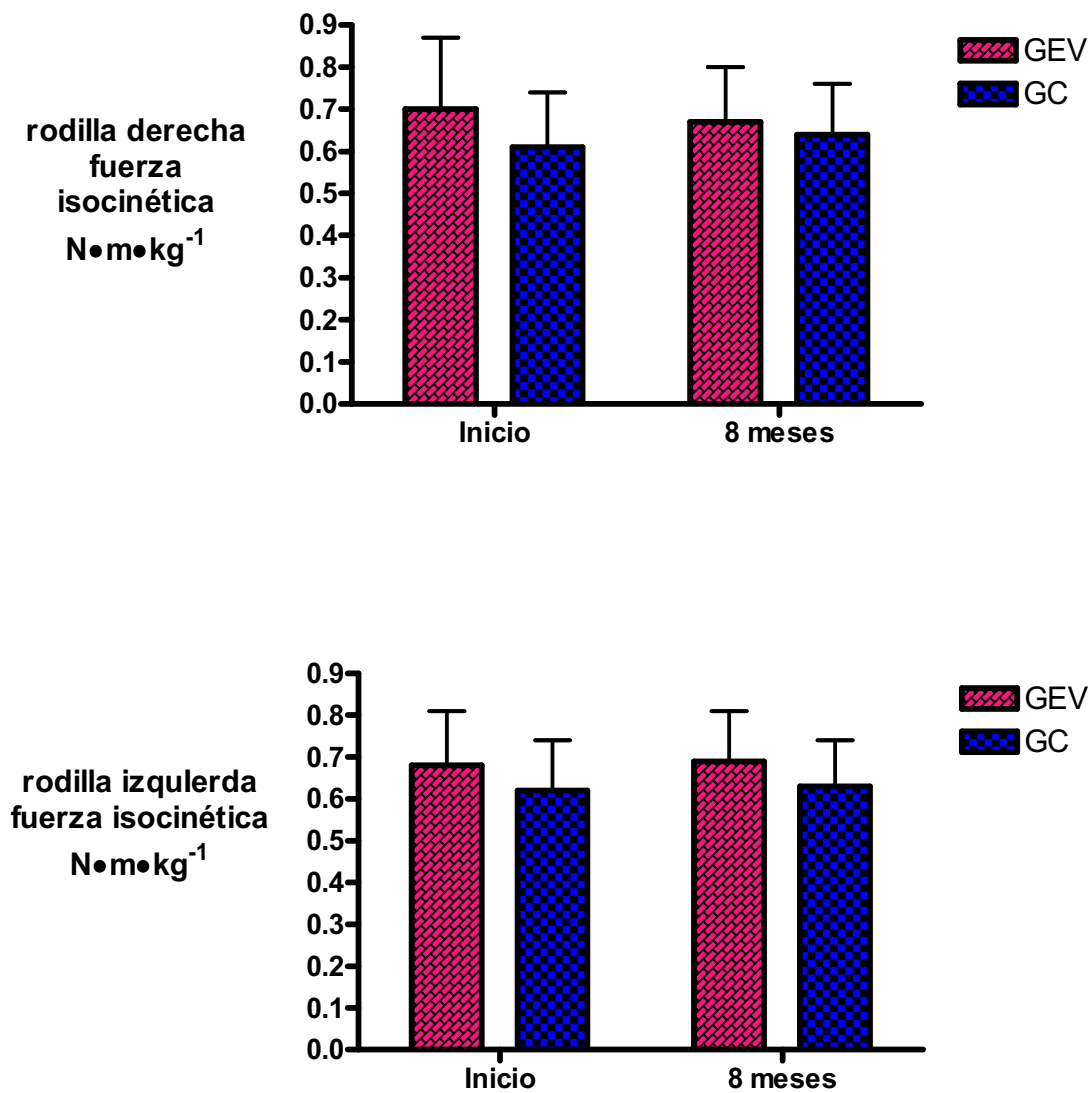
(ac) acción concéntrica; (ae) acción excéntrica;

Como se puede observar en la figura 14, el efecto comparativo del tratamiento de vibración respecto al de caminar no mostró diferencias significativas en la fuerza máxima en los músculos extensores de la rodilla derecha e izquierda a una velocidad lenta ( $60^{\circ}/s$ ) en acción concéntrica.



**Figura 14.** Fuerza isocinética máxima de los músculos extensores de rodilla a  $60^{\circ}/s$  en acción concéntrica. \*  $p < 0.05$  de ANOVA para comparar cambios entre grupos

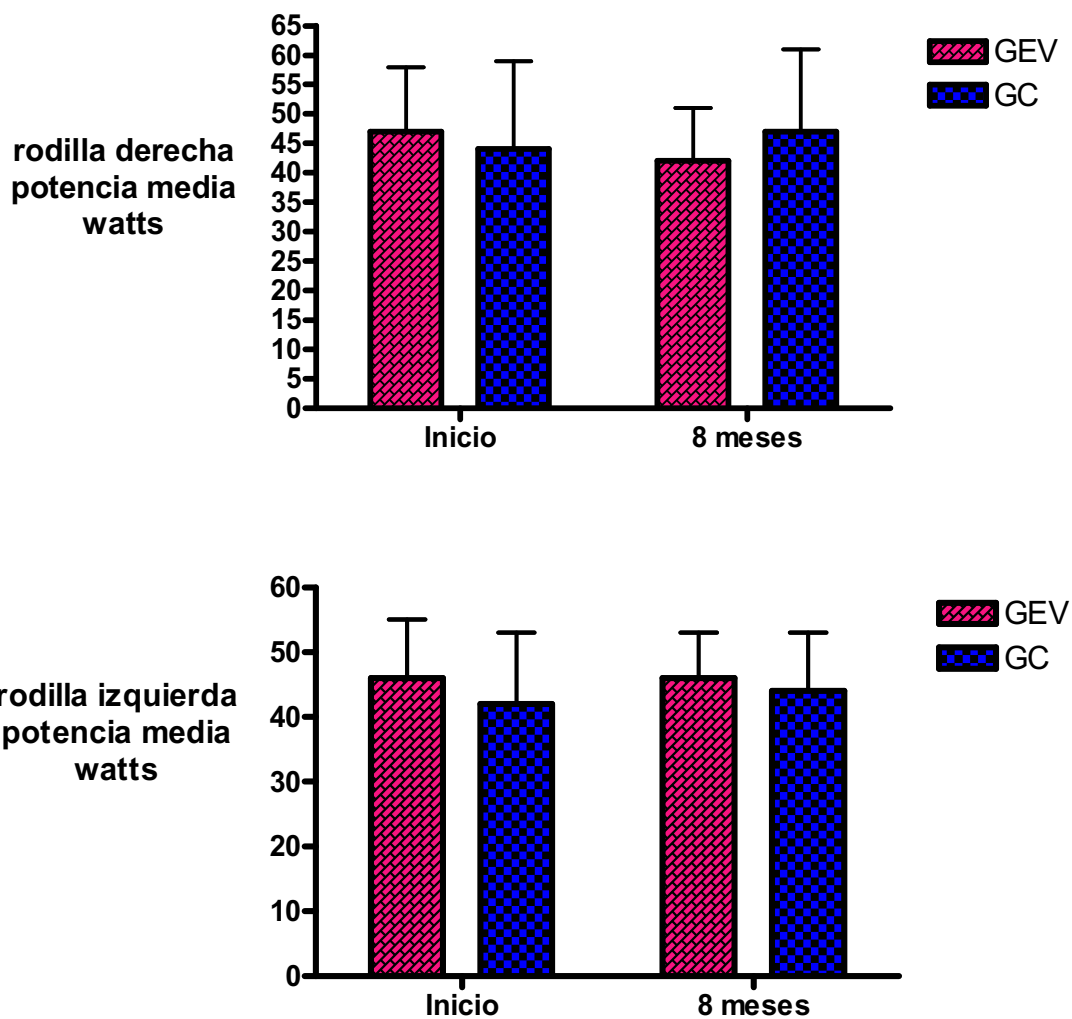
En la fuerza de los músculos extensores de rodilla a velocidades más elevadas (300°/s) tampoco se registraron cambios significativos entre grupos (Figura 15).



**Figura 15.** Fuerza isocinética máxima de los músculos extensores de rodilla a 300°/s en acción concéntrica. \*  $p < 0.05$  de ANOVA para comparar cambios entre grupos

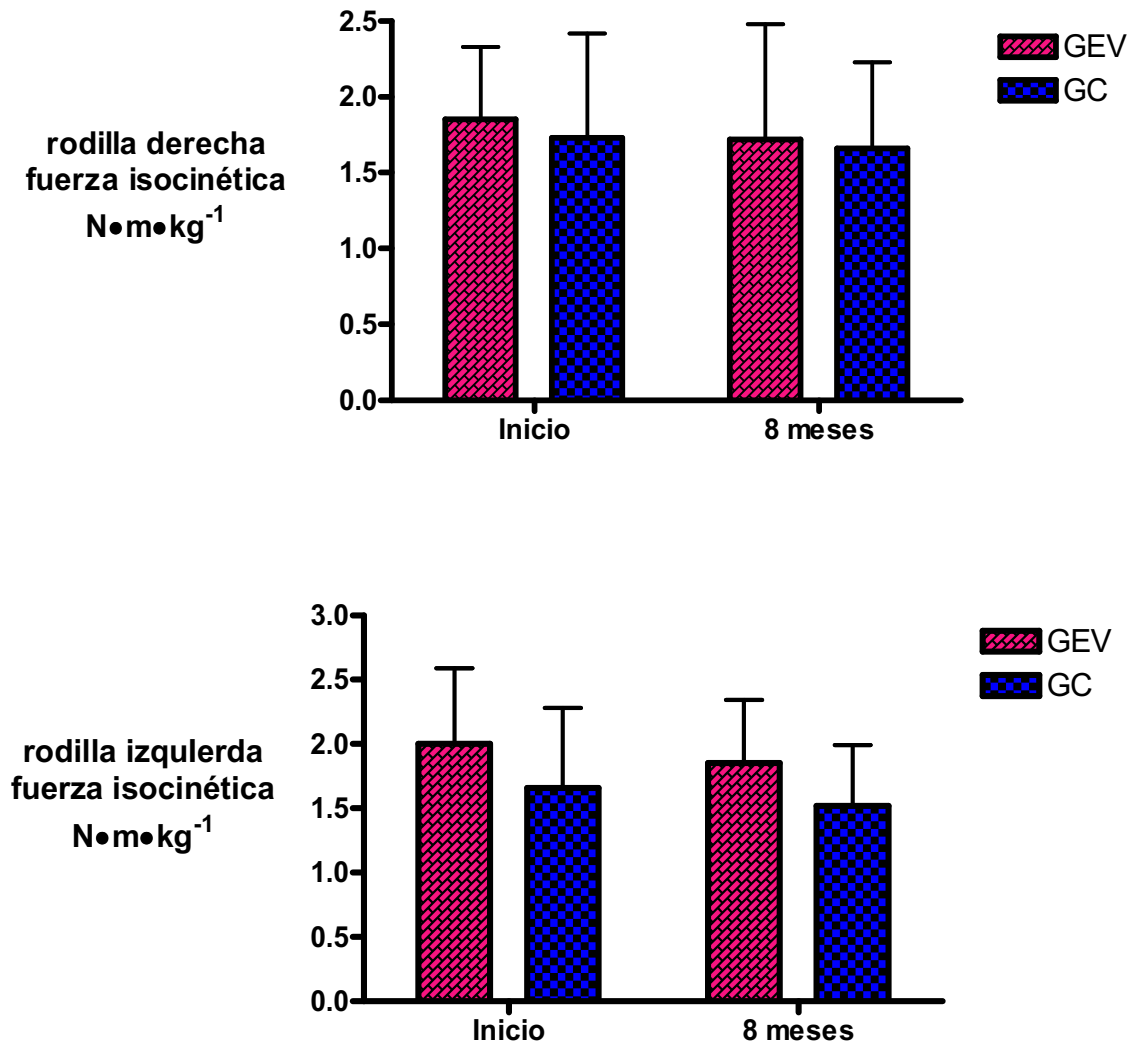


En la potencia media de los músculos extensores de rodilla a velocidades elevadas (300°/s) tampoco el efecto comparativo del tratamiento de vibración respecto al de caminar fue significativo (Figura 16).



**Figura 16.** Potencia media de los músculos extensores de rodilla a 300°/s en acción concéntrica. \*  $p < 0.05$  de ANOVA para comparar cambios entre grupos

En cuanto a la acción excéntrica a 60°/s, una vez más, no se verificaron cambios significativos entre los dos grupos (Figura 17).



**Figura 17.** Fuerza isocinética máxima de los músculos extensores de rodilla a 60°/s en acción excéntrica. \*  $p < 0.05$  de ANOVA para comparar cambios entre grupos

## 5.5 – Densidad mineral ósea

La tabla VI muestra los resultados de la densitometría en la región de la cadera y columna lumbar. A lo largo de los 8 meses de intervención, el programa de vibración no ha producido cambios significativos en la densidad ósea de las regiones estudiadas en el GEV.

Por otro lado, el GC obtuvo una reducción significativa en la densidad ósea del cuello del fémur (2,6%). En las restantes regiones los cambios no fueron significativos.

El efecto comparativo del tratamiento de vibración respecto al de caminar en el cuello del fémur (5%) fue significativo, en cambio los efectos en otras partes no lo fueron.

En la figura 18 se puede observar que los efectos comparativos de los cambios entre grupos en la DMO en la columna lumbar no han sido distintos entre los dos programas aplicados.

Tabla VI. Comparación de un programa de ejercicio vibratorio (N=14) con uno de caminar (N=14) en la Densidad Mineral Ósea en mujeres posmenopáusicas. Resultados en el inicio de la intervención y alteraciones ocurridas al final de 8 meses\*

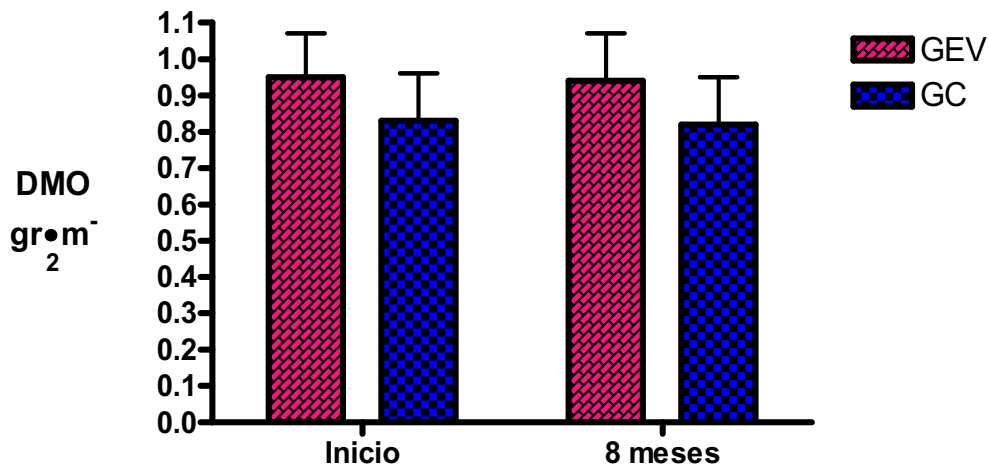
Assessment	Local/Test	Línea base				8 meses				Línea base				Pt
		WBV		WC		WBV		WC		Exercise		Control		
		Media ± SD	Media ± SD	Media ± SD	Media ± SD	Media ± SD	Media ± SD	Media ± SD	Media ± SD	Mean (95%CI)	Mean (95%CI)	Mean (95%CI)	Mean (95%CI)	
DMO ( $gr \cdot m^{-2}$ )	Columna Lumbar	0.95 ± 0.12	0.83 ± 0.13	0.94 ± 0.13	0.82 ± 0.13	-0.01 (-0.04 a 0.02)	-0.01 (-0.02 a 0.01)	0.00 (-0.03 a 0.03)	.983					
	Cuello del Fémur	0.79 ± 0.10	0.78 ± 0.13	0.81 ± 0.10	0.76 ± 0.13	0.02 (-0.01 a 0.04)	-0.02 (-0.03 a 0.00) <sup>b</sup>	0.03 (0.01 a 0.06)	.011					
	Trocánter	0.68 ± 0.08	0.60 ± 0.10	0.69 ± 0.08	0.59 ± 0.10	0.01 (-0.01 a 0.02)	-0.01 (-0.02 a 0.02)	0.02 (-0.01 a 0.04)	.084					
	Triángulo de Ward	0.63 ± 0.11	0.58 ± 0.12	0.66 ± 0.10	0.58 ± 0.12	0.04 (-0.01 a 0.09)	0.01 (-0.02 a 0.02)	0.03 (-0.02 a 0.09)	.070					

\* Valores expresados como media ± desviación estándar y 95% intervalo de confianza

†P para análisis de varianza para medidas repetidas ajustadas por el valor de línea base y edad para comparar las diferencias entre grupos al final de los 8 meses.

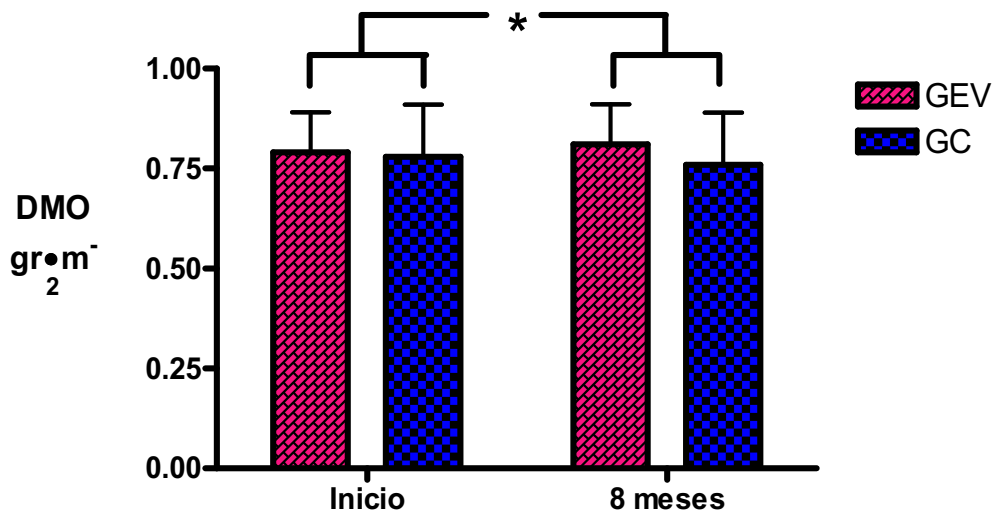
a p valores en línea base entre grupos < .050

b p intra grupo < .050



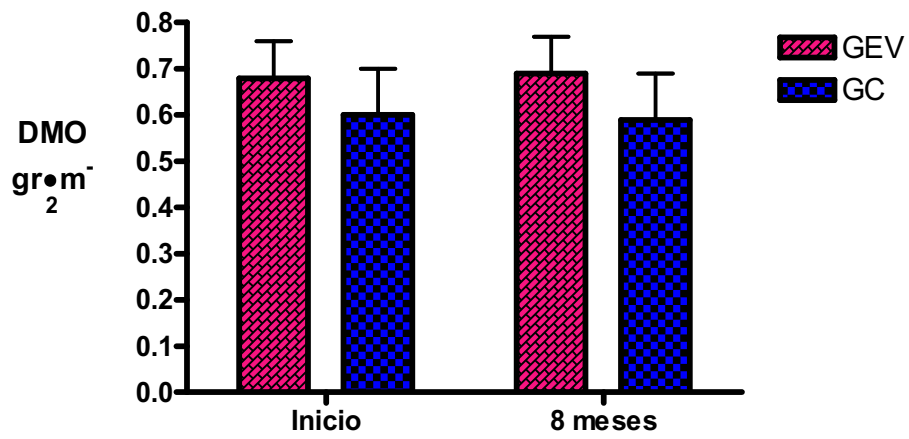
**Figura 18.** Densidad mineral ósea en la columna lumbar ( $\text{gr}\cdot\text{m}^{-2}$ ). \*  $p < 0.05$  de ANOVA para comparar cambios entre grupos

Como hemos mencionado antes, se encontraron diferencias significativas entre grupos tras los 8 meses de intervención en la densidad mineral ósea del cuello del fémur (Figura 19).

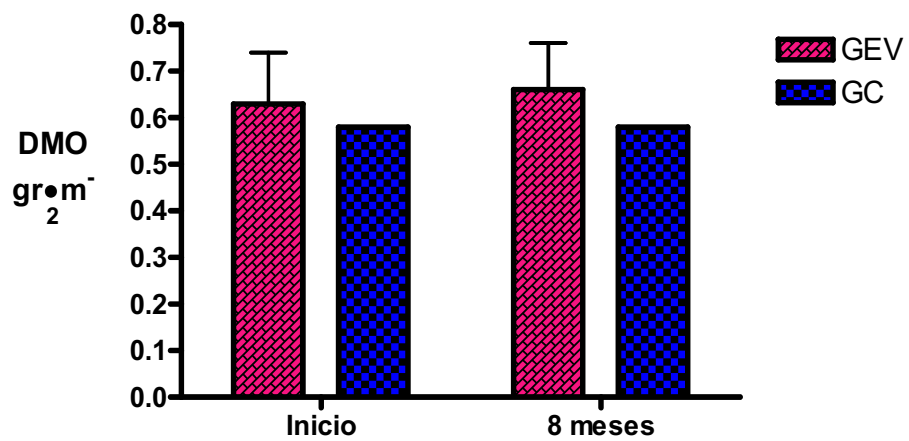


**Figura 19.** Densidad mineral ósea en el cuello del fémur ( $\text{gr}\cdot\text{m}^{-2}$ ). \*  $p < 0.05$  de ANOVA para comparar cambios entre grupos

Por otro lado, en el trocánter y triángulo de ward no se mostraron cambios significativos en la densidad ósea entre grupos (Figura 20 y 21).



**Figura 20.** Densidad mineral ósea en trocánter ( $\text{gr}\cdot\text{m}^{-2}$ ). \*  $p < 0.05$  de ANOVA para comparar cambios entre grupos



**Figura 21.** Densidad mineral ósea en triángulo de ward ( $\text{gr}\cdot\text{m}^{-2}$ ). \*  $p < 0.05$  de ANOVA para comparar cambios entre grupos

## **6 - DISCUSIÓN**

## 6.1 – Aplicabilidad y cumplimiento del entrenamiento

Uno de los principales hallazgos fue la inexistencia de lesiones al aplicar los dos programas. Ruitter et al. (2003) en su intervención de 11 semanas, con una frecuencia de vibración de 30Hz en jóvenes, ha tenido uno abandono por presentar dolor en la columna asociada al EV. En otro estudio realizado con mujeres posmenopáusicas, también se ha producido una baja por lesión en la rodilla (asociada al entreno), al aplicar un programa de ejercicio vibratorio con 28 Hz durante 6 meses (Russo C et al., 2003). Algunos autores refieren que las bajas frecuencias del ejercicio vibratorio pueden provocar algunos daños en los sujetos (Goel VK et al., 1994), aunque otros investigadores se decantan por las frecuencias bajas, como las más adecuadas para la rehabilitación de pacientes (Schuhfried O et al., 2005).

Otro efecto positivo es la aplicabilidad y cumplimiento de ambos programas de entrenamiento (77% de los sujetos de cada grupo cumplieron los programas). Por lo tanto, el ejercicio vibratorio fue tan seguido a largo plazo como el de caminar, a pesar de que el programa de caminar también tuvo un soporte social (los sujetos caminaron en grupo). Puede ser de interés conocer el efecto de incluir sesiones de vibración con varias personas a la vez, como sucede en algunas prácticas clínicas o gimnasias. El reducido tiempo necesario en cada sesión de entreno vibratorio (cerca de 30 minutos comparando con los usuales 40/60 minutos que se emplean en una sesión de cardio, aulas en clase, o entreno de fuerza), aliado al hecho de que los sujetos podrían hacer sus sesiones entre las 9.00 y las 21.00 horas, y que no es necesario un vestuario especial para hacer el ejercicio vibratorio, permitió estos resultados.



## 6.2 – Batería de Condición Física

Otro de los principales hallazgos del presente estudio fue que el ejercicio vibratorio en plataformas recíprocas, utilizando bajas frecuencias de vibración, es eficaz en la mejora del equilibrio en mujeres posmenopáusicas, que es uno de los factores más importantes de riesgo asociado con las caídas (Hausdorff JM et al., 2001; Iwamoto J, Otaka Y, Kudo K, Takeda T, Uzawa M, & Hirabayashi, 2004). Por lo tanto, en términos de salud pública, la mejora de esta cualidad tiene repercusiones importantes en términos de prevención, permitiendo que los costes sanitarios derivados de las caídas puedan disminuir. Algunos estudios clínicos apuntan que el ejercicio vibratorio puede mejorar el equilibrio en jóvenes (Torvinen S, Kannus P et al., 2002a) y en mayores (Bruyere O et al., 2005), mientras que otros no registraron ningún efecto (Torvinen S, Kannus P et al., 2002b; Torvinen S et al., 2003; Torvinen S, Sievanen H et al., 2002). En un estudio aleatorio con jóvenes adultos saludables y no deportistas, cuatro minutos de ejercicio vibratorio han provocado mejoras en la prestación muscular del tren inferior y en el equilibrio (Torvinen S, Kannus P et al., 2002a). Otra investigación ha mostrado mejoras en caminar, equilibrio y capacidad motora de mayores que viven en residencias de ancianos tras la aplicación de un programa de entreno vibratorio (4 minutos por sesión) durante 6 meses (Bruyere O et al., 2005). Después de 8 meses del programa de ejercicio vibratorio que hemos aplicado, los sujetos del GEV presentaron una mejora significativa del 29% en comparación, en el GC prácticamente no se registraron cambios. Torvinen et al. (2002a), en su investigación obtuvieron una mejoría en el equilibrio (15,7%) empleando una prueba distinta de la que hemos utilizado en nuestro estudio. Existen evidencias de que la edad afecta al equilibrio más acentuadamente en las oscilaciones laterales (Mille ML, Johnson ME, Martinez KM, & Rogers MW, 2005), que son aquellas que más se estimulan con el aparato de entrenamiento vibratorio empleado en este estudio. Las diferencias entre el presente estudio y otros, pueden ser debidas a las

---

características de la vibración conforme hemos explicado en la figura 3 - a y 3 - b. Lord et al. (1999), en su estudio, descubrieron una asociación entre los desequilibrios laterales y las caídas en el pasado de los sujetos. Smeesters et al. (2001), mostraron que a medida que la capacidad funcional para caminar con alguna velocidad disminuye, los resbalones y decaimientos suelen derivar en caídas laterales con impactos cerca del cuello del fémur, suponiendo un gran riesgo de fractura ósea en la cadera. El hecho de haber utilizado un aparato con una vibración recíproca, induce un gran impacto mecánico en el eje-X (Gusi N et al., 2006), esto permite mejorar el equilibrio lateral, aumentando la calidad de vida y reduciendo el riesgo de fractura de la cadera.

Niveles óptimos de fuerza están también asociados a la disminución del riesgo de fracturas óseas provocadas por las caídas (Hausdorff JM et al., 2001; Iwamoto J et al., 2004). En nuestro estudio pretendemos medir los efectos de los dos programas de ejercicio en la producción de fuerza muscular para poder prevenir las caídas. En un estudio aleatorio con jóvenes sanos y no deportistas, 4 minutos de ejercicio vibratorio con vibraciones de 15-30Hz, mejoró la prestación muscular en las piernas (Torvinen S, Kannus P et al., 2002a). Después de 6 meses de una investigación con dos grupos seleccionados aleatoriamente, constituidos por mayores que vivían en residencias de ancianos, los sujetos sometidos a un programa de 4 minutos de ejercicio vibratorio con frecuencias de vibración de 10-26Hz, presentaron progresos en el caminar, en el equilibrio corporal y capacidad motora (Bruyere O et al., 2005). Los beneficios del ejercicio vibratorio controlado, pueden ser explicados en parte por el efecto en la prestación muscular como reflejan diversos estudios. Este tipo de estímulo mecánico permite desarrollar el comportamiento neuromuscular mediante la facilitación de la transmisión de órdenes motoras entre el sistema nervioso y los músculos, así como facilitar la excitabilidad del reflejo espinal (Bosco C et al., 1999; Bosco C et al., 2000; Torvinen S, Kannus P et al., 2002a; Verschueren S et al., 2004). Un año de entrenamiento desarrollando un programa de ejercicio combinado con impacto aumentó la velocidad máxima de caminar (Englund U, Littbrand H, Sondell A, Pettersson U, & Bucht G,

2005). Por el contrario, en nuestra intervención, el GEV amplió el tiempo necesario para recorrer 4 metros caminando. Un resultado semejante fue presentado por Iwamoto et al. (2004) utilizando una frecuencia de vibración de 20Hz a lo largo de 3 meses. Sin embargo, el GC, tal como sería de esperar, presentó una disminución significativa en esta prueba. Efectivamente, este grupo realizó 1 hora 3 veces por semana, un programa de caminar durante 8 meses.

Runge et al. (2000), después de 2 meses de entrenamiento vibratorio con una frecuencia de 27 Hz utilizando un aparato semejante al del presente estudio, y con un grupo semejante al nuestro, presentaron mejoras en aproximadamente el 18% en la prueba de sentarse y levantarse 3 veces de una silla como resultado de los progresos en términos de potencia muscular causada por la estimulación refleja del músculo. La razón por la cual los autores del estudio entienden que la mejora en esta prueba en particular se encuentra asociada a un progreso en la potencia muscular, es debido a que los sujetos realizaron un determinado trabajo (levantar su propio cuerpo de la silla) en un tiempo medido (la potencia es igual al trabajo multiplicado por el tiempo). En nuestro estudio randomizado, el GEV registró un pequeño descenso (4,6%) en el tiempo empleado en la prueba de la silla. La diferencia alcanzada entre el estudio de Runge et al. (2000) y el nuestro, puede ser atribuida a las diferentes frecuencias de vibración utilizadas. La utilización en nuestro estudio de frecuencias más bajas puede ser la razón por la cual los sujetos no han desarrollado la estimulación refleja del músculo. Sin embargo, el GC presentó una mejora significativa del 16,9% ( $p = .041$ ).

La pérdida de fuerza muscular con la edad está fuertemente influida por la combinación de la disminución en la masa muscular (la masa muscular se reduce un 30-40% de la masa total del cuerpo a medida que envejecemos) y también de la atrofia de la enervación de las fibras tipo II (Kallinen M et al., 1995). La adaptación al estímulo del entrenamiento está relacionada con la modificación inducida por la repetición del ejercicio efectuado varias veces, y esta adaptación es específica para cada

movimiento ejecutado. La respuesta al entrenamiento de fuerza demuestra estar condicionada por factores nerviosos y musculares, siendo los segundos los más importantes para producir adaptaciones que se mantienen a lo largo de meses (Avela J, 1998; Bosco C et al., 1998). Los mismos autores realzan que un ejercicio de fuerza explosiva (ejemplo los saltos múltiples) y la correspondiente adaptación biológica a un estímulo de un entrenamiento específico todavía no está bien estudiado. La gravedad constituye la mayor porción del estímulo mecánico responsable del desarrollo de la estructura del músculo durante el día a día y durante el entrenamiento. Así, los entrenamientos específicos para la fuerza en general y la fuerza explosiva en particular, están basados en ejercicios practicados con una rápida y violenta variación de la aceleración gravitatoria. Por un lado, la simulación de hipergravedad (con cargas extras), ha sido utilizada para el desarrollo de la fuerza explosiva. Por otro lado, alteraciones en las condiciones gravitacionales pueden ser producidas de igual modo por vibraciones mecánicas aplicadas a todo el cuerpo. Así, se asume que la aplicación de ejercicios por vibraciones (EV), en sujetos físicamente activos, podrán influir en el comportamiento mecánico de los músculos extensores de la pierna. Bosco et al. (2000) concluyó que el ejercicio vibratorio influye en la activación neural aumentando la sincronía de la actividad de las unidades motoras. En nuestro estudio, el programa vibratorio ha inducido mejoras significativas (7,1%) en la fuerza explosiva en el salto vertical ( $p$  intra-grupo = .046;  $p$  entre-grupos = .041). Resultados contrarios fueron presentados por Ruitter et al. (2003), según los cuales 11 meses de ejercicio vibratorio con 30 Hz no han inducido ningún efecto en el salto contra movimiento (CMJ) en hombres y mujeres jóvenes. Semejantes resultados fueron presentados por Cochrane et al. (2004), que en su intervención utilizaron una frecuencia de 26 Hz, en una muestra constituida por jóvenes saludables. Por otro lado, Torvinen et al. (2002b), presentaron un aumento significativo en la capacidad de salto (8,5%) después de un programa de 4 meses (24-40 Hz) aplicado a un grupo de jóvenes no deportistas. Con un programa similar y después de 8 meses de un programa de ejercicio vibratorio (24-45 Hz), Torvinen et al. (2003) verificaron un beneficio del

7,8%. Un aumento significativo del 7,6% en la capacidad de salto fue igualmente descubierto por Delecluse et al. (2003), como resultado de la aplicación de un programa de ejercicio vibratorio (35-40 Hz) de 12 semanas en mujeres jóvenes no entrenadas. Russo et al. (2003), después de una intervención de 6 meses con una frecuencia de vibración de 28 Hz, verificó un beneficio de 5% en la potencia muscular en mujeres posmenopáusicas. El presente estudio es el primero en lograr este resultado con una población de mujeres mayores utilizando como estímulo las frecuencias de vibración bajas en plataforma recíproca. El hecho de que el GC disminuyera la capacidad de salto puede ser debido a que caminar es una actividad física que estimula muy poco la fuerza explosiva (que está por debajo de la capacidad de ejecutar un salto).

### **6.3 – Función neuromuscular valorada con dinamometría isocinética**

El presente estudio ha mostrado que un programa de ejercicio vibratorio se reveló infructífero en el objetivo de aumentar la fuerza isocinética. La pérdida de fuerza muscular es una realidad en la vida humana muy relacionada con el envejecimiento (Simkin, 2002). Las bajas frecuencias de vibración del programa vibratorio empleado no han conseguido contrarrestar la normal reducción de fuerza asociada con la edad. Delecluse et al. (2003) verificaron que 12 meses de EV (35-40 Hz), indujeron un aumento significativo en la fuerza isométrica de los extensores de rodilla (16,6%) evaluada con un dinamómetro. Roelants et al. (2004) también encontraron un aumento significativo en la fuerza isométrica (15%) y en la fuerza dinámica (16,1%) evaluada igualmente con un dinamómetro después de un programa de EV de 24 semanas (35-45 Hz). Torvinen et al. (2003), al final de su experimento de 8 meses (25-45 Hz de frecuencia), no encontró ningún efecto en la fuerza muscular. La razón por la cual en nuestro estudio no hay ninguna respuesta en términos neuromusculares,

---

puede ser, en primer lugar, debido a que los participantes eran personas saludables y físicamente activas. Como Torvinen et al. (2003) e Rubin et al. (2001) especularon, tal vez en nuestro estudio, los tejidos musculares de los sujetos no mostraron necesidades de adaptación a este tipo de estímulo. Además, si las condiciones en términos de salud fueron distintas (si no fueron personas saludables), la adaptación a este tipo de ejercicio podría haber sido distinta. En segundo lugar, tal como Delecluse et al. (2003) proponen, la completa activación del músculo, va a conducir a un estado de fatiga de la unidad motora, y consecuentemente, a un incremento de fuerza. Comparando estos cuatro estudios, nuestro volumen de entrenamiento fue de 6 minutos, Torvinen et al. (2003) fue de 4 minutos, mientras en los intentos de Delecluse et al. (2003) y Roelants et al. (2004), fue creciendo hasta llegar a los 20 minutos por sesión. Así, un tiempo prolongado en la plataforma vibratoria, es necesario para inducir la fatiga en la unidad motora. Esta diferencia puede ser la principal explicación para la ineficacia del efecto en las variables respecto a la función neuromuscular de nuestro estudio. Las mismas razones son apuntadas por Luo et al. (2005) en su artículo de revisión. En tercer lugar, y tal como es sabido, durante la realización del ejercicio vibratorio, la intensidad del estímulo, no es la misma en todas las partes corporales. El estímulo es aplicado en la planta del pie y cada articulación reduce los efectos del impacto mecánico. Al mismo tiempo y tal como Martin et al. (1986) presenta, la vibración induce una inhibición recíproca de los músculos antagonistas, lo que representa que durante el ejercicio vibratorio los músculos agonistas y antagonistas en las piernas, son expuestos simultáneamente al estímulo de la vibración, que pueden mejorar adicionalmente los efectos inhibitorios de la vibración. Luo et al. (2005) también presentan una explicación para estos resultados. Estos autores concluyeron que una prolongada vibración hace disminuir la prestación neuromuscular en una contracción máxima voluntaria, por inhibir el reclutamiento de las unidades motoras, más que por la fatiga de las unidades motoras por su constante reclutamiento.

## 6.4 – Densitometría ósea valorada con densitómetro de rayos X de doble energía

La adaptación del hueso a la actividad física y carga mecánica es crucial para obtener mejoras o mantener la masa y fuerza ósea (Eisman J, 2001; Rubin C et al., 2003).

De acuerdo con lo sabido hasta el momento, el estímulo deberá ser distinto de los recibidos en la vida cotidiana para permitir un adaptación del tejido óseo (Frost HM, 1990). No obstante, estudios recientes sugieren que altas frecuencias de vibración con amplitudes muy pequeñas pueden influir de manera determinante en la morfología del hueso (Rubin C, Turner S et al., 2001; Rubin C, Xu G et al., 2001) debido a la reverberación. El presente estudio mostró un efecto clínicamente relevante cerca del umbral de 0.05 g/cm<sup>2</sup> (Lodder MC, Lems WF, Ader HJ, Marthinsen AE, Coeverden SC, Lips P, Netelenbos JC et al., 2004) y significativo ( $p=.016$ ), revelando mejoras en la DMO en el cuello del fémur, en el GEV versus GC. El GEV empezó el programa con valores del DMO en cadera mayores que el GC (significativo con  $p=.02$  en trocánter). Algunos autores han especulado que si los participantes tuvieran sus huesos más frágiles, de una forma más sencilla sería posible, que el tejido músculo esquelético se pudiera adaptar a las cargas y así aumentar la DMO (Rubin C, Xu G et al., 2001; Torvinen S et al., 2003).

Aunque nosotros esperábamos que los sujetos con menor densidad mineral ósea en sus huesos (GC) serían los que deberían haber obtenido un incremento superior, por el contrario, solamente el GEV ha obtenido mejorías en la DMO. Parece ser que la carga inducida por la vibración con baja amplitud y media intensidad (cerca de 3 mm de amplitud y 12,6 Hz de intensidad) puede ser utilizada con el propósito de contrarrestar la disminución del hueso relacionada con la edad. Así, puede servir de terapia

en el tratamiento para prevenir la osteoporosis. Si ambos grupos hubieran empezado con valores similares, tal vez los resultados podrían presentar un efecto aún más significativo comparado con los nuestros.

Inesperadamente, hemos registrado un efecto similar en los dos programas de ejercicio en la DMO de la columna lumbar (cerca de 1% de reducción). Verschueren et al. (2004) también han encontrado efectos al nivel de la cadera, pero no los han logrado en el cuerpo total y en la columna lumbar después de 6 meses de EV utilizando amplitudes bajas (1.7 a 2.5 mm) y altas frecuencias (35-40 Hz). Mientras han utilizado un equipamiento distinto, los efectos han provocado una adaptación similar. Esta inexistencia de significatividad a nivel lumbar puede ser explicada en parte, por la parcial flexión de la rodilla durante la ejecución del ejercicio vibratorio, reduciendo así los efectos del impacto mecánico (Torvinen S et al., 2003). Sin embargo, Rubin et al. (2003) descubrieron una tensión más fuerte en la vertical que en el eje lateral utilizando un aparato distinto basado en plataformas cuya base oscila abajo-arriba. A diferencia de esta, la plataforma que hemos usado en el presente estudio oscila en torno a eje central, por lo que cuando una mitad de la base se encuentra en el punto más bajo, la otra mitad estará en el punto más alto, provocando un constante balanceo en la cadera aumentando las aceleraciones laterales. Fortuitamente en nuestro ensayo el impacto mecánico 3 veces más fuerte en el eje-X causado por la plataforma vibratoria fue osteogénico a 12,6 Hz y 3mm de amplitud, pero en el eje-Y, la aceleración de la carga mecánica no ha provocado una adaptación en una región específica. El aumento en la DMO en la cadera, después de la vibración en torno de un eje central, mostró que el tejido óseo se puede adaptar a alteraciones mecánicas del involucramiento. El hecho de que la cadera se sitúe en una posición lateral comparada con la columna lumbar, permite concluir que el aparato utilizado en nuestro estudio experimental induce un efecto en una parte específica. Estos resultados apuntan que si pretendemos obtener una adaptación específica en la DMO en la columna lumbar, será necesario emplear una intervención más prolongada, si no, tendremos que cambiar la magnitud del estímulo mecánico a través del aumento de la amplitud, disminución del ángulo de flexión de la rodilla



---

durante el ejercicio vibratorio, o aumento de la carga adicionando una carga extra (ejemplo: una bolsa con pesas en la espalda). Otra estrategia puede ser la alteración de la frecuencia del programa de ejercicio, y el seguimiento de un programa similar al descrito por Kemmler et al. (2003), que reporta un beneficio en la DMO de la columna lumbar cercano al 1,3%. Así, los efectos de la vibración del cuerpo cuando se adopta una posición distinta debe ser objeto de estudio (p.e. la disminución del grado de flexión de la rodilla puede afectar a las articulaciones).

## 6.5 – Limitaciones

La principal limitación del estudio fue el número reducido de la muestra, que podría haber limitado la posibilidad de haber obtenido efectos estadísticamente significativos en la reducción de la fuerza neuromuscular del GEV evaluada en el dinamómetro isocinético. De todas maneras, la magnitud de las alteraciones observadas se sitúan por debajo del umbral a partir del cual serían alteraciones clínicamente relevantes en dinamometría isocinética (Dvir, 2003) por lo que el aumento de la muestra, probablemente, no alteraría la relevancia clínica del estudio en este sentido. De igual manera, el tamaño de la muestra también puede haber limitado el efecto estadísticamente significativo en la DMO en la columna lumbar, pero la relevancia clínica de la media de la alteración (1% de pérdida), no ha mostrado un efecto sustancial o la razón para una posible aplicación. No obstante, estos resultados siguen de acuerdo con otros estudios previos (Verschuere S et al., 2004).

La generalización de estos resultados tiene que ser restringida a mujeres posmenopáusicas saludables, una vez que hemos reclutado este tipo de población para reducir la influencia de cierto tipo de variables contaminantes (terapia hormonal de sustitución, desordenes metabólicas, mala nutrición, et.). Tal como fue especulado por Rubin et al. (2001) y Torvinen et al. (2003), con una población con osteopenia o osteoporosis, el

aumento de la DMO podría haber sido diferente, con mejoras significativas en todas las variables, pero aún, se continúa sin conocer los efectos de este tipo de estímulo mecánico en estas particulares pero importantes poblaciones. Son necesarios más estudios utilizando también poblaciones premenopáusicas o incluso mujeres más jóvenes.

Por otro lado, los resultados obtenidos en este estudio tienen que ser considerados solamente para los aparatos diseñados en producir oscilaciones en torno de un eje central, provocando un balanceo continuo en la cadera y aumentando las aceleraciones laterales. Este es el tipo de equipamiento más utilizado en el entrenamiento y en el ámbito clínico.

## **7 – RESUMEN Y CONCLUSIONES**

## 7.1 – Resumen

La debilidad muscular y los problemas de equilibrio se encuentran asociados al aumento del riesgo de caídas en los mayores (Hausdorff JM et al., 2001). Las caídas domésticas, resultantes de la pérdida de equilibrio, es la causa más común de las fracturas óseas en los mayores (Jesup JV et al., 2003). Los programas de ejercicio físico son utilizados como estrategia de intervención no farmacológica. Diversos estudios han utilizado estos programas de ejercicio para prevenir las fracturas óseas como consecuencia de las caídas, principalmente en poblaciones mayores. Por otro lado, las pocas investigaciones existentes, presentan adaptaciones provocadas que producen en su mayoría, reducción de la grasa corporal, aumento de la masa y fuerza muscular, del equilibrio, flexibilidad y tiempo de reacción (Heinonen A et al., 1999; Kannus P et al., 1994; Roelants M, Delecluse C, Goris M et al., 2004). Así, si pretendemos actuar en la prevención de las caídas hay que aumentar la fuerza muscular, el equilibrio y la densidad mineral ósea. Con el propósito de atenuar la disminución de estas 3 facultades físicas, varios han sido los tipos de programa prescritos. Se han empleado distintos tipos de entrenamiento de fuerza, de programas aeróbicos, en tierra y en el medio acuático.

La literatura científica más reciente describe los efectos del ejercicio vibratorio en el hueso (Torvinen S et al., 2003; Verschueren S et al., 2004), en el equilibrio (Bruyere O et al., 2005), en la fuerza de las piernas (Delecluse C et al., 2003; Issurin V et al., 1994; Issurin V et al., 1999; Torvinen S, Kannus P et al., 2002a), en la fuerza muscular (Cardinale M et al., 2003) y en la terapia de dolores de espalda (Rittweger J, Just K et al., 2002). Sin embargo, no se conocen los efectos de EV en la fuerza isocinética en mayores. Además, no se conocen los efectos del EV de baja intensidad en la fuerza muscular, en el equilibrio y en la DMO en poblaciones de mayores. Los pocos estudios sobre los efectos de las medias/altas intensidades de vibración nos han dado algunas indicaciones para estudiar más en detalle este tipo de entrenamiento, pero buscando

adaptaciones importantes para poblaciones mayores con vista a la prevención de caídas. Por otro lado, las pocas investigaciones existentes, presentan adaptaciones provocadas en su mayoría por un periodo de intervención más corto que el presente estudio (8 meses). Estos periodos de intervención posiblemente fueron escasos para obtener los efectos en determinados parámetros como p.e. en la densidad mineral ósea.

Con el propósito de esclarecer estos vacíos científicos, se trazó el siguiente objetivo:

1 – Comparar el efecto del ejercicio vibratorio de baja intensidad y de un programa de caminar sobre la masa ósea y condición física en mujeres posmenopáusicas.

El objetivo general se concreta en dos objetivos más específicos:

- a) Comparar los efectos de un programa de 8 meses de entrenamiento vibratorio de baja intensidad en la DMO de la cadera y columna con un programa de caminar en mujeres posmenopáusicas.
- b) Comparar los efectos de 8 meses de entrenamiento vibratorio de baja intensidad en la condición física, con un programa de caminar en mujeres posmenopáusicas.

Consecuentemente, las hipótesis de esta tesis son:

- 1– El programa de ejercicio vibratorio propuesto es más eficaz que un programa de caminar para prevenir la pérdida de masa ósea.
- 2– El programa de ejercicio vibratorio propuesto es más eficaz que un programa de caminar para mejorar la condición física.

Para alcanzar los objetivos presentados y contrastar las hipótesis se utilizó una muestra de 36 mujeres posmenopáusicas y con capacidad física para cumplir el programa de ejercicio y con edades comprendidas entre 60 y 80 años. Estas fueron distribuidas aleatoriamente en un grupo de ejercicio

vibratorio (GEV = 18) o un grupo de caminar (GC = 18). Cuatro sujetos de cada grupo no completaron los respectivos programas. Así, fueron incluidos para análisis 14 sujetos en cada grupo. Ambos programas de entrenamiento tuvieron una duración de 8 meses.

Los sujetos del GEV siguieron su programa con una frecuencia del entrenamiento de tres sesiones semanales con al menos un día de descanso entre cada dos sesiones. El ejercicio vibratorio fue realizado con los sujetos en posición erecta, con los pies sobre la plataforma. Los sujetos permanecieron en la plataforma con sus pies paralelos en relación al eje de la plataforma que les transmitía una oscilación lateral en todo su cuerpo. Durante el entrenamiento, los sujetos no tenían ningún tipo de zapatillas deportivas con el fin de estandarizar el impacto recibido y evitar el amortiguamiento del impacto causado por su utilización. El ángulo de las rodillas ha sido determinado en 120° de flexión. Durante las primeras dos semanas de entrenamiento, el GEV realizó tres series de un minuto con una intensidad de vibración de 12,6 Hz, cumpliendo 1 minuto de pausa entre cada una. La carga del entrenamiento aumentó sistemáticamente a lo largo de las 6 semanas siguientes (1 serie cada dos semanas hasta lograr las 6 series que se pretendían como carga en el presente estudio). La amplitud seleccionada ha sido de 3 mm. La duración de cada entrenamiento rondó los 30 minutos e incluyó un calentamiento de 10 minutos compuesto por 5 minutos pedaleando en un ciclo ergómetro (Monark) a 25 W, seguido de 5 minutos de estiramientos de los miembros inferiores. El programa fue supervisado por dos graduados en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte.

Los sujetos asignados al GC siguieron su programa de ejercicio en el exterior. Cada sesión duró cerca de una hora y consistió en caminar a una velocidad confortable. La frecuencia semanal fue de 3 sesiones. Al final de cada sesión realizaron ejercicios de estiramiento muscular. Este grupo fue supervisado por dos asistentes, graduados en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte.

Para acceder a diversa información relevante para la aplicación de nuestro estudio recurrimos a un cuestionario general y a los cuestionarios *EuroQol 5-D* (EQ-5D) y *Short-Form-36 Health Survey* (SF-36). La densidad mineral ósea fue evaluada con densitometría. El equilibrio fue evaluado con la prueba de “Flamenco Ciego”. Se midió la fuerza isocinética en los músculos extensores de la rodilla en acción concéntrica a 60 y 300°/s y la potencia media en acción concéntrica a 300°/s. También se midió en acción excéntrica la fuerza isocinética a 60°/s. La condición física fue evaluada mediante las pruebas de salto vertical, velocidad máxima en caminar 4 metros y la prueba de sentarse y levantarse 3 veces.

Las principales mejoras obtenidas en el GEV fueron mostradas en equilibrio y en la capacidad de salto. Por otro lado, el programa de caminar permitió obtener incrementos en la velocidad de caminar y en la capacidad funcional de sentarse y levantarse de una silla. Más concretamente, el efecto del tratamiento de 32 semanas de ejercicio vibratorio de baja intensidad, ha permitido mejorar significativamente la capacidad de salto vertical (7%) y el equilibrio monopodal (28%). En el mismo periodo, el programa de caminar mostró mejoras significativamente en el tiempo de caminar 4 metros (16%) y en el tiempo que lleva a levantarse y sentarse 3 veces en una silla (17%).

Respecto a la fuerza medida en el dinamómetro isocinético, al final de los 8 meses, se verificó una tendencia a la disminución en el GEV. El GC mantuvo sus valores sin grandes alteraciones.

Mientras el GEV obtuvo ligeros incrementos en la DMO en la cadera, los cambios entre grupos sólo han sido significativos en el cuello del fémur (GEV > 2,5% vs GC < 2,5%).

## 7.2 – Conclusiones

- I. El entrenamiento de 8 meses en plataforma vibratoria recíproca con una intensidad baja, resultó ser más eficaz para mejorar la

capacidad de equilibrio (uno de los factores determinantes para las caídas) en mujeres posmenopáusicas que el programa de caminar.

- II. Ocho meses de entrenamiento vibratorio con una intensidad baja fue más eficaz que el programa de caminar en contrarrestar la tendencia de pérdida de la densidad mineral ósea en la cadera y más específicamente en el cuello del fémur. Aunque no se han obtenido resultados en la columna lumbar, es una metodología que en el tren inferior puede ser efectiva. Nuevas investigaciones son necesarias para buscar efectos en la columna (reduciendo el ángulo de flexión de la rodilla).
  
- III. El protocolo de ejercicio del grupo de ejercicio vibratorio mostró ser más eficaz para mejorar la potencia muscular asociada a la capacidad de salto vertical que el protocolo de caminar.
  
- IV. La utilización de bajas intensidades de vibración no fueron eficaces para el aumento de la fuerza isocinética, pero tampoco el programa de caminar lo fue.
  
- V. El programa de caminar desarrollado, fue más eficaz para aumentar la fuerza muscular en las piernas, asociadas con las actividades cotidianas (caminar, levantarse y sentarse de una silla), que el programa de ejercicio vibratorio.

Así, proponemos la utilización del ejercicio vibratorio en plataformas recíprocas, con una baja intensidad en vez de un programa de caminar para



mejorar dos de los factores determinantes para las caídas: el equilibrio y densidad mineral ósea en el cuello del fémur (región más frecuente de fracturas en consecuencia de las caídas). Por tanto, se hace necesaria la realización de más estudios con muestras más amplias para comprobar la efectividad del tratamiento propuesto en la práctica profesional (deportiva, médica, fisioterápica, etc.).

Finalmente, en lo que respecta a las hipótesis de estudio, la primera puede ser confirmada porque sólo el grupo de ejercicio vibratorio ha obtenido mejoras en la densidad mineral ósea localizadas en la cadera.

La segunda hipótesis no puede ser confirmada ya que el grupo de ejercicio vibratorio presentó mejoras en el equilibrio y en los saltos, mientras que el grupo de caminar mejoró en las pruebas asociadas al desarrollo de las actividades físicas cotidianas como caminar y capacidad funcional para levantarse y sentarse en una silla.

## **8 – RESUMO E CONCLUSÕES**

## 8.1 – Resumo

A debilidade muscular, assim como os problemas de equilíbrio, estão directamente associados com o aumento do risco de quedas em populações de idosos (Hausdorff JM et al., 2001). Sabe-se inclusivamente que as quedas domésticas resultantes da falta de equilíbrio, são a causa mais comum das fracturas ósseas nos idosos (Jesup JV et al., 2003). Os programas de exercício físico são frequentemente utilizados como uma estratégia de intervenção não farmacológica. Diversos autores utilizaram programas de exercício físico, para prevenir a ocorrência de fracturas ósseas como consequência de quedas, principalmente em sujeitos idosos, uma vez que estes programas podem ser efectivos no aumento da força e massa muscular, melhoria do equilíbrio, flexibilidade e tempo de reacção (Heinonen A et al., 1999; Kannus P et al., 1994; Roelants M, Delecluse C, Goris M et al., 2004). Assim, se pretendemos actuar no âmbito da prevenção de quedas, há que aumentar a força muscular, o equilíbrio e a densidade mineral óssea. Com o propósito de atenuar a diminuição destas 3 faculdades físicas, vários tem sido os programas prescritos (desde o treino de força, programas aeróbicos, em terra ou inclusive em meio aquático).

A literatura científica mais recente descreve os efeitos do exercício vibratório no osso (Torvinen S et al., 2003; Verschueren S et al., 2004), no equilíbrio (Bruyere O et al., 2005), na força dos membros inferiores (Delecluse C et al., 2003; Issurin V et al., 1994; Issurin V et al., 1999; Torvinen S, Kannus P et al., 2002b), na força muscular (Cardinale M et al., 2003), e na terapia de dores lombares (Rittweger J, Just K et al., 2002). No entanto, não se conhece ainda os efeitos do exercício vibratório na força isocinética nos idosos. Mais ainda, não se conhece os efeitos do exercício vibratório de baixa intensidade na força muscular, no equilíbrio e na densidade mineral óssea no grupo populacional atrás referido. No entanto, os poucos estudos sobre os efeitos das médias/altas intensidades de vibração, deram-nos algumas boas indicações para estudarmos mais em detalhe este novo tipo de treino com o intuito de verificar se existem adaptações importantes em populações idosas, nomeadamente com vista à

prevenção da ocorrência de quedas. Por outro lado, as poucas investigações existentes apresentam adaptações provocadas na sua maioria, por intervenções mais curtas do que o presente estudo (8 meses). Estes períodos de intervenção, possivelmente foram curtos para se poder obter efeitos em determinados parâmetros como por exemplo na densidade mineral óssea.

Com o propósito de esclarecer estas lacunas científicas, traçou-se o seguinte objectivo:

1 – Comparar o efeito do exercício vibratório de baixa intensidade e de um programa de caminhar, sobre a massa óssea e a condição física em mulheres pós-menopáusicas.

O objectivo geral concretiza-se em 2 mais específicos:

- a) Comparar os efeitos de um programa de 8 meses de treino vibratório de baixa intensidade na densidade mineral óssea da anca e coluna, com um programa de caminhar em mulheres pós-menopáusicas.
- b) Comparar os efeitos de 8 meses de treino vibratório de baixa intensidade na condição física, com um programa de caminhar em mulheres pós-menopáusicas.

Consequentemente, as hipóteses de estudo da presente tese são:

- 1) O programa de exercício vibratório proposto é mais eficaz que um programa de caminhar para prevenir a redução da massa óssea associada com o envelhecimento.
- 2) O programa de exercício vibratório proposto é mais eficaz que um programa de caminhar para melhorar a condição física em mulheres pós-menopáusicas.

Para alcançar os objectivos propostos e verificar as hipóteses formuladas, utilizou-se uma amostra de 36 mulheres pós-menopáusicas com capacidade para cumprirem os programas de exercício, com idades

compreendidas entre os 60 e os 80 anos de idade. Estas foram distribuídas aleatoriamente num grupo de exercício vibratório (GEV = 18), e num grupo de caminhar (GC = 18). Quatro sujeitos de cada grupo não completaram os respectivos programas. Assim, foram incluídos 14 sujeitos em cada grupo. Ambos os programas de treino tiveram a duração de 8 meses.

Os sujeitos do GEV seguiram o seu programa com uma frequência de três sessões de treino semanais, tendo pelo menos um dia de descanso entre cada duas sessões. O exercício vibratório foi realizado com os sujeitos numa posição erecta, com ambos os pés sob a plataforma paralelos em relação ao eixo da plataforma, que lhes transmitiu uma oscilação lateral a todo o corpo. Durante o treino, os sujeitos não calçaram qualquer tipo de calçado desportivo com o objectivo de standardizar o impacto recebido, e evitar o amortecimento causado pela sua utilização. O ângulo de flexão dos joelhos foi de 120°. Durante as duas primeiras semanas de treino, o GEV realizou três séries de um minuto com uma intensidade de vibração de 12,6 Hz, cumprindo um minuto de pausa entre cada uma. A carga de treino aumentou gradualmente ao longo das 6 semanas seguintes (1 série em cada 2 semanas até alcançar as 6 séries que se pretendiam como carga do presente estudo). A amplitude seleccionada foi de 3 mm. A duração de cada sessão de treino rondou os 30 minutos e incluiu um aquecimento de 10 minutos (5 minutos a pedalar num ciclo ergómetro (Monark) a 25 W, seguido de 5 minutos de alongamentos dos membros inferiores). O programa foi controlado por dois graduados em Ciências da Actividade Física e Desporto.

Os sujeitos do GC realizaram o seu programa de exercício no exterior. Cada sessão durou cerca de uma hora e consistiu em caminhar a uma velocidade confortável. A frequência semanal foi igualmente de 3 sessões. No final de cada sessão, realizaram alguns exercícios de alongamentos musculares. Este grupo foi igualmente supervisionado por dois assistentes graduados em Ciências da Actividade Física e Desporto.

Para aceder a diversa informação, relevante para a aplicação do nosso estudo, recorreremos a um questionário geral e aos questionários EuroQol 5-D (EQ-5D) e Short-Form-36 Health Survey (SF-36). A densidade mineral óssea foi avaliada através de uma densitometria. O equilíbrio foi avaliado com o teste “Flamingo Cego”. Foi medida a força isocinética nos músculos extensores da perna em acção concêntrica a 60 e 300°/s, e a potência média em acção concêntrica a 300°/s. Igualmente foi avaliada em acção excêntrica a força isocinética a 60°/s. A condição física foi avaliada através das provas de salto vertical, velocidade em caminhar 4 metros, e a prova de levantar e sentar de uma cadeira 3 vezes.

As principais melhoras obtidas foram encontradas no equilíbrio e na capacidade de salto. Por outro lado, o programa de caminhar obteve aumentos na velocidade de caminhar, e na capacidade funcional de levantar e sentar numa cadeira. Mais concretamente, o efeito de tratamento de 32 semanas de exercício vibratório de baixa intensidade, permitiu melhorar significativamente a capacidade de salto vertical (7%) e o equilíbrio monopodal (28%). No mesmo período, o programa de caminhar melhorou significativamente o tempo em caminhar 4 metros (16%) e o tempo que leva a levantar e sentar 3 vezes numa cadeira (17%).

No que respeita à força medida com o dinamómetro isocinético, no final dos 8 meses verificou-se uma tendência para diminuir no GEV. Quanto ao GC, este manteve os seus valores sem grandes alterações.

Embora o GEV tenha obtido ligeiros incrementos na densidade mineral óssea na anca, as alterações só foram significativas no colo do fémur (GEV > 2,5% vs GC <2,5%).

## 8.2 – Conclusões

- I. O programa de treino de 8 meses na plataforma vibratória recíproca com uma intensidade baixa, mostrou ser mais eficaz para melhorar a capacidade de equilíbrio (um dos factores

determinantes para as quedas) em mulheres pós-menopáusicas, que o programa de caminhar.

II. Oito meses de treino vibratório com uma intensidade baixa, foi mais eficaz que o programa de caminhar em contrariar a tendência de perda de densidade mineral óssea na anca, mais especificamente no colo do fêmur. Ainda que não se tenha obtido resultados na coluna lombar, é uma metodologia que ao nível dos membros inferiores pode ser efectiva. Novas investigações são no entanto necessárias para procurar efeitos na coluna (reduzindo o ângulo de flexão do joelho).

III. O protocolo de exercício do grupo de exercício vibratório mostrou ser mais eficaz para melhorar a potência muscular associada à capacidade de salto vertical, do que o protocolo de caminhar.

IV. A utilização de baixas frequências de vibração, não foi eficaz no aumento da força isocinética. Semelhante ineficácia foi observada no programa de caminhar.

V. O programa de caminhar proposto, foi mais eficaz para aumentar a força muscular nas pernas, associada com as actividades quotidianas (caminhar, levantar e sentar numa cadeira), que o programa de exercício vibratório.

Assim, propomos a utilização do exercício vibratório em plataformas vibratórias recíprocas com uma baixa intensidade, em vez de um programa de caminhar, para melhorar dois dos factores determinantes para a ocorrência de quedas: o equilíbrio e a densidade mineral óssea no colo do fémur (local mais frequente em termos de ocorrência de fracturas em consequência de quedas). Mais estudos são necessários com amostras maiores para comprovar a efectividade do tratamento proposto.

Finalmente, no que respeita às hipóteses de estudo, a primeira pode ser confirmada porque somente o grupo de exercício vibratório obteve melhorias na densidade mineral óssea, pese embora estas melhoras se tenham localizado na anca.

A segunda hipótese não pode ser confirmada, já que o grupo de exercício vibratório apresentou melhorias no equilíbrio e nos saltos, enquanto que o grupo de caminhar melhorou nas provas associadas à realização de actividades físicas quotidianas (no caminhar e na capacidade funcional para levantar e sentar numa cadeira).



## **9 – SUMMARY AND CONCLUSIONS**

## 9.1 – Summary

Muscle frailty and balance problems are some of many risk factors occurring in elderly (Hausdorff). Falls at home resulting of gait dysfunctions are one of the main common risk factors of bone fractures in frail elderly (Jesup). In order to prevent this occurrence, exercise programmes are used as a non-pharmacological prevention strategy. As reported in the literature, the efficiency of such bone fracture prevention programmes are due to the fact that they reduce body fat and increase muscle strength and muscle mass, even as balance, flexibility, reaction time and bone mineral density (Heinonen). Mainly the exercise programmes are either strength programmes or aerobics performed on land or in water.

Recent investigations have showed that controlled whole body vibration induces a positive effect on bone mineral density (Torvinen), body balance (Bruyere), lower limbs strength (Delecluse), and muscle strength (Cardinale), and can even been used as a therapy for lower back pain (Rittweger). This technique can easily been applied on previously physically untrained and frail subjects. This training technique is based on oscillatory muscle stimulation, and reflex muscle stimulation transmitted at the whole-body through the feet located on a vibration platform that can oscillate at predetermined frequencies and amplitudes. However literature doesn't show any previous study about the effects of whole body vibration on isokinetic strength in elderly. Moreover, the effects of low vibratory frequencies exercise on muscle strength, balance and bone mineral density are till now mainly unknown. However when looking at medium and high frequencies vibratory exercise, literature shows that those trainings increase muscle strength, jumping height and bone mineral density. Such results were for us the stimulus for looking if this kind of training could induce adaptations in elderly that could result in prevention for falls. On the other hand the experiments that we reviewed are mainly speaking about short duration trainings and the observed results were short to achieve effects on some

studied variable such as bone mineral density. Nevertheless, there is a lack of long-term studies to analyse the effects of low-frequency vibrations on muscle strength in humans.

Our aim consists in reducing this lack of information on starting a 8 months low frequency vibratory training programme and to compare the results of muscle strength, lower limb strength and bone mineral density with those of a similar time scheduled walking programme, normally used as a standard alternative in primary care, on a randomised controlled population of post-menopausal women.

The aim of our study can be subdivided in:

- a) Comparing the effects of 8 months low frequency whole body vibration program with a similar timed walking programme on lumbar and hip bone mineral density in post-menopausal women;
- b) Comparing the effects of 8 months low frequency whole body vibration program with a similar timed walking programme on physical fitness in postmenopausal women;

The hypothesis we are willing to prove consist in:

- 1- Will a whole body low frequency vibration programme be more effective in preventing bone mineral density decrease than a walking programme?
- 2- Will a whole body low frequency vibration programme be more effective in increasing physical fitness than a walking programme?

In order to achieve our goals and provide an answer at our hypothesis, 36 healthy post-menopausal women, aged 60 to 80 years participated at this study. Subjects were randomly assigned in a whole body vibration group (WBV=18) and a walking group (WG=18). Four subjects dropped out in both groups during the time period of the experiment. Thus statistical analysis was performed on 14 subjects in both groups.

WBV group was asked to train 3 times a week with at least 1-day interval between sessions. Vibration load was carried out in standing position on a whole body platform (Galileo 2000, Novotec GmbH, Pforzheim, Germany). Subjects stood on the platform producing lateral oscillations of the whole body, feet at a distance of approximately 10 cm from the central line of the platform. Vibratory session, were performed bare foot in order to preventing damping processes of the oscillations by the shoes. Subjects were asked to perform the vibratory exercise knees bent with an angle of 60°. The vertical amplitude of WBV was preset at the level of 3 mm. Experimental procedure consisted in:

1. First 2 weeks: 3 sets of 1 min vibrations at a frequency of 12.6 Hz separated by 1 min rest interval.
2. Training load was increased during the next 6 weeks with 1 set every 2 weeks allowing performing from the 8<sup>th</sup> week till the end of the experiment 6 sets of 1 min vibration exercise, separated each by 1 min rest.
3. The duration of the WBV programme was about 30 min and included:
  - 10 min warming up on a cyclo-ergometer with a preset load of 50 Watt;
  - Vibration exercise;
  - 5 min recovery consisting in stretching of the muscles quadriceps and biceps femoris.

WG performed 3 outdoor 60 min sessions a week, with a least 1-day interval between sessions. The exercise consisted in walking on a flat and lightly up- or downhill circuit, under supervision of a research assistant experienced with physical exercise. Each walking session included 5 minutes of stretching activity.

Current and previous dietary factors including intake of calcium and vitamin D, even as the *EuroQol 5-D* and *Short-Form-36 Health Survey* questionnaires were administered prior and at the end of the experiment. Bone mineral density (BMD, g·cm<sup>-2</sup>) of the right proximal femur (femoral neck, trochanter and ward's triangle) and lumbar spine were assessed using

DXA (Norland Excell Plus; Norland Inc., Fort Atkinson, USA). Standard positioning was used with anterior-posterior scanning of the right proximal femur, and lumbar column. The same experienced technician performed all scans. Postural balance was assessed with the *Blind Flamingo test*. Maximal unilateral concentric and eccentric isokinetic torque of the knee extensors was recorded by an isokinetic dynamometer (Biodex System-3, Biodex Corp., Shirley, NY, USA). Concentric action was carried out 3 repetitions at the velocity of  $60^{\circ}\cdot\text{sec}^{-1}$  and 30 repetitions with a velocity of  $300^{\circ}\cdot\text{sec}^{-1}$ . Eccentric exercise was achieved at the speed of  $60^{\circ}\cdot\text{sec}^{-1}$ . This last procedure was systematically the ultimate to be performed in order to avoid the well-known decrease in muscle power occurring after eccentric exercise (Michaut A, Pousson M, et al.). Physical fitness evaluation was performed using, a Health Related Fitness Test Battery (HRF) including: a) Body Weight and Height measured in standing position; b) Vertical Jump Test, with mixed counter movement of lower and upper limbs (CMJ), and from static position (SJ) (15). Flight time was measured in both tests using an Ergo Jump Platform (Bosco System, Italy); c) Chair Rise Test consisting in the fact that a subject in standing position, arms folded on the chest, have to sit on and rise as fast as possible, 3 times consecutively, from a standart height chair (40cm); d) Period of time required to walk as fast as possible 4 meters distance. All components of the HRF were triplicate in order to record the best-obtained values.

The results of 8 months WBV training indicates the existence of beneficial gain in balance (28%) and vertical jump height (7%), while WG performed during the same time period improves the walking velocity (16%) and the functional capacity to sit and reach 3 times from a chair (17%).

After 8 months WBV group shows a tendency of decrease in all measured isokinetic strength variables while those remain unchanged in walking group.

8-months of WBV increases the BMD of 4.3% at femoral neck ( $p=.01$ ) comparing with WG values. The comparison of the changes in the BMD at other sites of hip did not reach statistical significance at 5% level but the trend showed the higher effectiveness of vibratory exercise.

## 9.2 – Conclusions

- I. One can observe a significant improvement of balance in post-menopausal women when performing during 8 months a whole body low frequency vibratory exercise on a reciprocating plate. This is not the case when similar group performs the same time span a walking activity.
  
- II. Bone mineral density of the femoral neck increases after performing 8-months a whole body low-frequency vibratory exercise on a reciprocating plate in post-menopausal women. Even without significant conclusions about the effects of 8-months exposure at a whole body low frequency vibratory exercise on a reciprocating plate in post-menopausal women at level of the bone mineral density at lumbar level one cannot dismiss the probability of its effectiveness at the lower limbs level. Further research on vibratory dosage and/or postural condition on the platform could provide information about the possibility of modification of bone mineral density at level of the column.
  
- III. Whole body low frequency vibratory exercise on a reciprocating plate performed during 8-months increases muscle power associated with the performance of a vertical jump far more than the walking activity in post-menopausal women.

- IV. Post-menopausal women submitted during 8-months at a whole body low-frequency vibratory exercise on a reciprocating plate doesn't increase their isokinetic strength, neither the walking training during the same time span.
  
- V. An 8-months walking programme performed by post-menopausal women is more effective to increment lower limb strength related to daily life than a whole body low frequency vibratory exercise.

So, we suggest the use of vibration exercise with reciprocating plate and low-frequency instead of a walking program to improve two major determinants factors for falls, balance and bone mineral density on femoral neck (most frequent region with bone fractures in consequence of falls). More studies are needed with a large sample to verify the effectiveness of the treatment proposed.

Answers to our hypotheses:

The first hypothesis is confirmed as bone mineral density has been increased solely in the group performing whole body low frequency vibratory exercise. This increment of bone mineral density occurs mainly at level of the hip.

The second hypothesis is not confirmed once the whole body low frequency vibratory group improves its balance and vertical jump competencies, whereas the walking group improved the tests related with daily live activities such as walking speed and the functional capacity to sit and rise from a chair.

## **10 - REFERENCIAS**



- AAHPERD. (1980). *Health Related Physical Fitness Manual*. Reston: American Alliance for Health Physical Education, and Dance.
- ACSM. (1995). American College of Sport Medicine Position Stand on Osteoporosis and Exercise. *Med. Sci. Sports Exerc*, 27, i-vii.
- ACSM. (2006). *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription* (Seventh Edition ed.). Baltimor: Lippincott Williams & Wilkins.
- Avela J. (1998). *Stretch-reflex adaptation in man*. Jyväskylä: University of Jyväskylä.
- Bailey DA, Faulkner RA, & McKay HA. (1996). Growth, Physical Activity, and Bone Mineral Acquisition. *Med. Sci. Sports Reviews*, 24, 233-266.
- Bean J, Herman S, Kiely DK, Callahan D, Mizer K, Frontera WR, & Fielding RA. (2002). Weighted stair climbing in mobility-limited older people: a pilot study. *J Am Geriatr Soc*, 50, 663-670.
- Beunen G, Ostyn M, Simons J, Renson R, Claessens AL, Vanden Eynde B, Lefevre J, Vanreusel B, M. R., et al. (1997). Development and tracking in fitness components: Leuven longitudinal study on lifestyle, fitness and health. *Int J Sports Med*, 18, 171-178.
- Blair SN. (1994). Physical Activity, Physical Fitness and Health. In Mester J (Ed.), *Health Promotion and Physical Activity* (pp. 11-36). Colonia: The Club of Cologne.
- Borg G. (1998). *Borg's Exertion and Pain Scales*. Champaign: Human Kinetics.
- Bosco C. (1994). *La valoración de la fuerza con el test de Bosco*. Barcelona: Paidotribo.
- Bosco C, Colli R, Introini E, Cardinale M, Iacovelli M, Tihanyi J, Duvillard SP, & A., V. (1998). The influence of whole body vibration on the mechanical behaviour of skeletal muscle. *Biology of Sport*, 15(3), 1-8.
- Bosco C, Colli R, Introini E, Cardinale M, Iacovelli M, Tihanyi J, Duvillard SP, & A., V. (1999). Adaptive responses of human skeletal muscle to vibration exposure. *Clinical Physiology*, 19, 183-187.
- Bosco C, Iacovelli M, Tsarpela O, Cardinale M, Bonifazi M, Tihanyi J, Viru M, Lorenzo A, et al. (2000). Hormonal responses to whole-body vibration in men. *European Journal Applied Physiology*, 81, 449-454.
- Bouchard C. (1994). Physical Activity, Fitness and Health. In Mester J (Ed.), *Health Promotion and Physical Activity* (pp. 37-49). Colonia: The Club of Cologne.
- Bruyere O, Wuidart M, Palma E, Gourlay M, Ethgen O, Richy F, & Reginster J. (2005). Controlled whole body vibration to decrease fall risk and improve health-related quality of life of nursing home residents. *Arch Phys Med Rehabil*, 86, 303-307.
- Cardinale M, & Bosco C. (2003). The use of vibration as an exercise intervention. *Exerc Sport Sci*, 31(1), 3-7.
- Cavanaugh J, & Cann E. (1988). Brisk walking does not stop bone loss in postmenopausal women. *Bone*, 9(4), 201-204.
- Chandler J, Duncan P, Kochersberger G, & Studenski S. (1998). Is lower extremity strength gain associated with improvement in physical performance and disability in frail, community-dwelling elders? *Arch Phys Med Rehabil*, 79, 24-30.

- Cochrane DJ, Legg SJ, & Hooker MJ. (2004). The short-term effect of whole-body vibration training on vertical jump, sprint, and agility performance. *J Strength Cond Res*, 18(4), 828-832.
- Conroy BP, Kraemer WJ, Maresh CM, Fleck SJ, Stone MH, Fry AC, Miller PD, & Dalsky OP. (1993). Bone mineral density in elite junior Olympic weightlifters. *Med. Sci. Sports. Exerc*, 25, 1103-1109.
- Curry BD, Bain JL, Yang JG, & al., e. (2002). Vibration injury damages arterial endothelial cells. *Muscle Nerve*, 25, 527-534.
- Delecluse C, Roelants M, & Verschueren S. (2003). Strength increase after whole-body vibration compared with resistance training. *Med. Sci. Sports Exerc*, 35(6), 1033-1041.
- Dvir, Z. (2003). How much is necessary to indicate a real improvement in muscle function? A review of modern methods of reproducibility analysis. *Isokinetics and Exercise Science*, 11, 49-52.
- Eisman J. (2001). Good, good, good... good vibrations: the best option for better bones? *Lancet*, 358, 1924-1925.
- Englund U, Littbrand H, Sondell A, Pettersson U, & Bucht G. (2005). A 1-year combined weight-bearing training program is beneficial for bone mineral density and neuromuscular function in older women. *Osteoporos Int*, 16, 1117-1123.
- Etherington J, Harris PA, Nandra D, Hart DJ, Wolman RL, Doyle DV, & Spector TD. (1996). The effect of weight-bearing exercise on bone mineral density: a study of female ex-elite athletes and the general population. *J. Bone Miner. Res.*, 11, 1333-1338.
- Fleishman E. (1964). *The structure and measurement of physical fitness*. New York: Englewood Cliffs.
- Flieger J, Karachalios Th, Khaldi L, Raptou P, & Lyritis G. (1998). Mechanical stimulation in the form of vibration prevents postmenopausal bone loss in ovariectomized rats. *Calcif Tissue Int*, 63, 510-514.
- Frontera W, & Bigard X. (2002). The benefits of strength training in the elderly. *Science & Sports*, 17, 109-116.
- Frontera W, Huges V, Krivickas L, Kim SK, Foldvary M, & Roubenoff R. (2003). Strength training in older women: early and late changes in whole muscle and single cells. *Muscle Nerve*, 27, 601-608.
- Frontera WR, Meredith CN, O'Reilly KP, Knuttgen HG, & Evans WJ. (1988). Strength Conditioning in older men: skeletal muscle hypertrophy and improved function. *J. Appl. Physiol*, 64, 1038-1044.
- Frost HM. (1990). Skeletal structural adaptations to mechanical usage (STAMU): 1 Redefining Wolff's law: The bone modelling problem. *Anat Rec*, 226, 403-413.
- Gajdosik R, Linden DV, & Williams A. (1999). Concentric isokinetic torque characteristics of the calf muscles of active women aged 20 to 84 years. *Journal Orthopaedic Sports Physiological Therapy*, 29(3), 181-190.
- Gillespie LD, Gillespie WJ, Robertson MC, Lamb SE, & Rowe BH. (2003). Interventions for preventing falls in elderly people. *The Cochrane Database Systematic Reviews*, 4, CD000340.
- Goel VK, Park H, & Kong W. (1994). Investigation of vibration characteristics of the ligamentous lumbar spine using the finite element approach. *J Biomech Eng*, 116(4), 377-383.

- Going S, Lohman T, Pamentor R, & et al. (1991). The effects of weight training on regional bone mineral density (BMD) in premenopausal females. *Med. Sci. Sports. Exerc.*, 23, S115.
- Grimston SK, Willows ND, & Hanley DA. (1993). Mechanical loading regime and its relationship to bone mineral density in children. *Med. Sci. Sports. Exerc.*, 25, 1203-1210.
- Gusi N, Marina M, Nogués J, Valenzuela A, Nàcher S, & Rodríguez FA. (1997). Validez comparativ y fiabilidad de dos métodos para valorización de la fuerza de salto vertical. *Apunts de Medicina de l'Esport*, 32, 271-278.
- Gusi N, Parraca J, Tomas-Carus P, Leal A, & Raimundo A. (2006). *Influence of the grade of knee flexion on mechanical and electromyographical impact during whole body vibration exercise*, Graz.
- Gutin B, & Kasper MJ. (1992). Can vigorous exercise play a role in osteoporosis prevention? A review. *Osteoporos Int*, 2, 55-69.
- Hageman P, & Sorensen T. (1999). Ejercicios Isocinéticos Excéntricos. In Albert M (Ed.), *Entrenamiento muscular excéntrico en deportes y ortopedia*. Barcelona: Editorial Paidotribo.
- Hausdorff JM, Rios DA, & Edelberg HK. (2001). Gait variability and fall risk in community-living older adults: a 1-year prospective study. *Arch Phys Med Rehabil*, 82, 1050-1056.
- Heinonen A, Kannus P, Sievänen M, Oja P, & Vuori I. (1999). Good maintenance of high-impact activity-induced bone gain by voluntary, unsupervised exercises: An 8-month follow-up of a randomized controlled trial. *Journal of Bone and Mineral Research*, 14(1), 125-128.
- Heyward V. (2002). *Advance Fitness Assessment and Exercise Prescription* (Fourth ed.). Champaign: Human Kinetics.
- Howley C, & Franks A. (1995). *Manual del técnico en salud y fitness*. Barcelona: Paidotribo.
- Hudges VA, Frontera WR, Dallal GE, & et al. (1995). Muscle strength and body composition: associations with bone density in older subjects. *Med. Sci. Sports. Exerc.*, 27, 967-974.
- Hughes VA, Frontera WR, Dallal GE, Lutz KJ, Fisher EC, & Evans WJ. (1995). Muscle strength and body composition: associations with bone density in older subjects. *Med. Sci. Sports. Exerc.*, 27, 967-974.
- Hyatt R, Whitelaw M, Bhat A, Scott S, & Maxwell J. (1990). Association of muscle strength with functional status of elderly people. *Age Ageing*, 19, 330-336.
- Issurin V, Lieberman D, & Tenenbaum G. (1994). Effect of vibratory stimulation training on maximal force and flexibility. *J Sports Sci*, 12, 561-566.
- Issurin V, & Tenenbaum G. (1999). Acute and residual effects of vibratory stimulation on explosive strength in elite and amateur athletes. *Journal of Sports Sciences*, 17, 177-182.
- Issurin V., & G., T. (1999). Acute and residual effects of vibratory stimulation on explosive strength in elite and amateur athletes. *Journal of Sports Sciences*, 17, 177-182.
- Iwamoto J, Otaka Y, Kudo K, Takeda T, Uzawa M, & Hirabayashi. (2004). Efficacy of training program for ambulatory competence in elderly women. *Keio J Med*, 53(2), 85-89.

- Iwamoto J, Takeda T, & Ichimura S. (2001). Effect of exercise training and detraining on bone mineral density in postmenopausal women with osteoporosis. *J Orthop Sci*, 6, 128-132.
- Jassen J, Heymsfield S, Wang Z, & Ross R. (2000). Skeletal muscle mass and distribution in 468 men and women aged 18-88 yr. *J Appl Physiol*, 89, 81-88.
- Jesup JV, Horne C, Vishen RK, & Wheeler D. (2003). Effects of exercise on bone density, balance, and self-efficacy in older women. *Biological Research for Nursing*, 4(3), 171-180.
- Jiang Y, Zhao J, Rosen C, Geusens P, & Genant H. (1999). Perspectives on bone mechanical properties and adaptive response to mechanical challenge. *Journal of Clinical Densitometry*, 2(4), 423-433.
- Jiménez F, & Aguilar A. (2000). *Isocinéicos: Metodología y utilización*. Madrid: MAPFRE, S.A.
- Kallinen M, & Markku A. (1995). Aging, physical activity and sports injuries. *Sports Med*, 20(1), 41-52.
- Kannus P. (1999). Preventing osteoporosis, falls, and fractures among elderly people. *BMJ*, 318, 205-206.
- Kannus P, & Khan KM. (2001). Prevention of falls and subsequent injuries in elderly people: a long way to go in both research and practice. *CMAJ*, 165(5), 587-588.
- Kannus P, Pakkardi J, & Sievanen H. (1994). How do we prevent hip fractures? *Calcif Tissue Int.*, 54(2), 175-177.
- Kannus P, Parkkari J, & Niemi S. (1995). Age-adjusted incidence of hip fractures. *Lancet*, 346, 50-51.
- Kemmler W, Engelke K, Weineck J, Hensen J, & Kalender W. (2003). The Erlangen Fitness Osteoporosis Prevention Study: A controlled exercise trial in early postmenopausal women with low bone density - first-year results. *Arch Phys Med Rehabil*, 84, 673-682.
- Kerschan-Schindl K, Grampp S, Henk C, Resh H, Preisinger E, Fialka-Moser V, & Imhof H. (2001). Whole-body vibration exercise leads to alterations in muscle blood volume. *Clinical Physiology*, 21(3), 377-382.
- Kirk S, Sharp CF, Elbaum N, Endres DB, Simons SM, Mohler JG, & Rude RK. (1989). Effect of long distance running on bone mass in women. *J Bone Miner Res*, 4(4), 515-522.
- Lodder MC, Lems WF, Ader HJ, Marthinsen AE, Coeverden SC, Lips P, Netelenbos JC, Dijkmans BA, et al. (2004). Reproducibility of bone mineral density measurement in daily practice. *Ann Rheum Dis*, 63, 285-289.
- Lord SR, & Castell S. (1994). Physical activity program for older persons: effect on balance, strength, neuromuscular control, and reaction time. *Arch Phys Med Rehabil*, 24, 106-110.
- Lord SR, Rogers MW, Howland A, & Fitzpatrick R. (1999). Lateral stability, sensorimotor function and falls in older people. *J Am Geriatr Soc*, 47, 1077-1081.
- Luo J, McNamara B, & Moran K. (2005). The use of vibration training to enhance muscle strength and power. *Sports Med*, 35(1), 23-41.
- Manso J, Valdivielso M, & Caballero J. (1996). *Pruebas para la Valoración de la Capacidad Motriz en Deporte* (First ed.). Madrid: Gymnos Editorial Deportiva.

- Martin BJ, Roll JP, & Gauthier GM. (1986). Inhibitory effects of combined agonist and antagonist muscle vibration on H-reflex in man. *Aviat Space Environ Med*, 57, 681-687.
- McCulloch RG, Bailey DA, Whalen RL, & et al. (1992). Bone density and bone mineral content of adolescent soccer athletes and competitive swimmers. *Pediatric Exerc. Sci.*, 4(319-330).
- Mester J, Kleinöder H, & Yue Z. (2006). Vibration training: benefits and risks. *Journal of Biomechanics*, 39, 1056-1065.
- Mester J, Spitzenfeil P, & Yue Z. (2002). Vibration loads: potential for strength and power development. In K. PV (Ed.), *Strength and power in sport* (pp. 488-501). Oxford: Blackwell.
- Mester J, Spltzenfell P, Schwarzer J, & Selfriz F. (1999). Biological reaction to vibration - Implication for Sport. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 2(3), 211-226.
- Michaut A, Pousson M, Babault N, & J., V. H. (2002). Is eccentric exercise-induced torque decrease contraction type dependent? *Med Sci Sports Exerc*, 34, 1003-1008.
- Mille ML, Johnson ME, Martinez KM, & Rogers MW. (2005). Age-dependent differences in lateral balance recovery through protective stepping. *Clin Biomech*, 20, 607-616.
- Murphy S, Dubin J, & Gill T. (2003). The development of fear of falling among community-living older women: Predisposing factors and subsequent fall events. *J Geront Med Sci*, 58A(10), 943-947.
- Nichols DL, Sanborn CF, Bonnick SL, Ben-Ezra V, Gench B, & DiMarco NM. (1994). The effects of gymnastics training on bone mineral density. *Med. Sci. Sports. Exerc*, 26, 1220-1225.
- Paffenbarger RS. (1994). Changes in Physical Activity and other Lifeway Patterns Influencing Longevity. In Mester J (Ed.), *Health Promotion and Physical Activity* (pp. 37-49). Colonia: The Club of Cologne.
- Parsons TJ, Prentice A, Smith EA, Cole TJ, & Compston JE. (1996). Bone mineral mass consolidation in young british adults. *J. Bone Miner. Res.*, 11, 264-273.
- Perrin DH. (1993). *Isokinetic exercise and assessment*. Charlottesville: Human Kinetics.
- Ploutz-Snyder L, Manini T, Ploutz-Snyder R, & Wolf D. (2002). Functionally relevant thresholds of quadriceps femoris strength. *Journal of Gerontology*, 57A(4), B144-B151.
- Porta J, Mas J, Paredes C, Izquierdo E, Aliaga J, & Martí D. (2003). Efectos de una sesión de vibroestimulación en la fuerza máxima y explosiva de ciclistas y saltadores juniors. *Revista Entrenamiento Deportivo*, 17(4), 9-14.
- Pu CT, & Nelson ME. (1999). Aging, function and exercise. In Frontera WR, Dawson DM & Slovik DM (Eds.), *Exercise in Rehabilitation Medicine*. Champaign: Human Kinetics.
- Randall JM, Matthews RT, & Stiles MA. (1997). Resonant frequencies of standing humans. *Ergonomics*, 40(9), 879-886.
- Rantanen T, Guralnik JM, Ferruci L, Leveille S, & Fried LP. (1999). Coimpairments: strength and balance as predictors of severe walking disability. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 54(4), M172-176.

- Ringsberg K, Gerdhem P, Johansson J, & Obrant K. (1999). Is there a relationship between balance, gait performance and muscular strength in 75-year-old women? *Age and Ageing*, 28, 289-293.
- Rittweger J, Beller G, & Felsenberg D. (2000). Acute physiological effects of exhaustive whole-body vibration exercise in man. *Clinical Physiology*, 20(2), 134-142.
- Rittweger J, Ehrig J, Just K, Mutschelknauss M, Kirsch, & Felsenberg D. (2002). Oxygen uptake in whole-body vibration exercise: influence of vibration frequency, amplitude and external load. *International Journal Sports Medicine*, 23, 428-432.
- Rittweger J, Just K, Kautzsch K, Reeg P, & Felsenberg D. (2002). Treatment of chronic lower back pain with lumbar extension and whole-body vibration exercise: A randomized controlled trial. *Spine*, 27, 1829- 1834.
- Rittweger J, Mutschelknauss M, & Felsenberg D. (2003). Acute changes in neuromuscular excitability after exhaustive whole body vibration exercise as compared to exhaustion by squatting exercise. *Clin. Physiol. & Func. Imaging*, 23(2), 81-86.
- Rodriguez FA, Gusi N, Valenzuela A, Nàcher S, Nogués J, & Marina M. (1998). *Valoración de la condición física saludable en adultos (I): antecedentes y protocolos de la Bateria AFISAL-INEFC*. Unpublished manuscript.
- Roelants M, Delecluse C, Goris M, & Verschueren S. (2004). Effects of 24 weeks of whole body vibration training on body composition and muscle strength in untrained females. *Int J Sports Med*, 25, 1-5.
- Roelants M, Delecluse C, & Verschueren S. (2004). Whole-Body-Vibration training increases knee-extension strength and speed of movement in older women. *J Am Geriatr Soc*, 52(6), 901-908.
- Rubin C, Pope M, Fritton JC, Magnusson M, Hansson T, & K, M. (2003). Transmissibility of 15-hertz to 35-hertz vibrations to the human hip and lumbar spine: determining the physiologic feasibility of delivering low-level anabolic mechanical stimuli to skeletal regions at greatest risk of fracture because of osteoporosis. *Spine*, 28(23), 2621-2627.
- Rubin C, Recker R, Cullen R, Ryaby J, McCabe J, & McLeod K. (2004). Prevention of Postmenopausal bone loss by a low-magnitude, high-frequency mechanical stimuli: A clinical trial assessing compliance, efficacy, and safety. *J. Bone Miner Res*, 19, 343-351.
- Rubin C, Turner S, Bain S, Mallinckrodt C, & McLeod K. (2001). Low mechanical signals strengthen long bones. *Nature*, 412, 603-604.
- Rubin C, Xu G, & Judex S. (2001). The anabolic activity of bone tissue, suppressed by disuse, is normalized by brief exposure to extremely low-magnitude mechanical stimuli. *Faseb J*, 15(b), 2225-2229.
- Rubin CT, Gross TS, McLeod KJ, & Bain SD. (1995). Morphologic stages in lamellar bone formation stimulated by a potent mechanical stimulus. *J. Bone Miner. Res.*, 10, 488-495.
- Ruiter CJ, Van Raak SM, Schilperoot JV, Hollander AP, & Haan A. (2003). The effects of 11 weeks whole body vibration training on jump height, contractile properties and activation of human knee extensors. *Eur J Appl Physiol*, 90, 595-600.
- Runge M, Rehfeld G, & E., R. (2000). Balance training and exercise in Geriatric Patients. *J. Musculoskel Neuron Interact*, 1, 54-58.

- Russo C, Lauretani F, Bandinelli S, Bartali B, Cavazzini C, Guralnik J, & Ferruci L. (2003). High-frequency vibration training increases muscle power in postmenopausal women. *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, 84(December), 1854-1857.
- Sargeant, A. J. (1995). *Función muscular humana. Cambios relacionados con la edad y adaptaciones a programas de actividad física en la Tercera Edad*. Paper presented at the Actividad Física y Salud en la Tercera Edad, Madrid.
- Schuhfried O, Mittermaier C, Jovanovic T, Pieber K, & Paternostro-Sluga T. (2005). Effects of whole-body vibration in patients with multiple sclerosis: a pilot study. *Clinical Rehabilitation*, 19, 834-842.
- Seguin R, & Nelson M. (2003). The benefits of strength training for older adults. *American Journal of Preventive Medicine*, 35, 141-149.
- Simkin, B. (2002). Even Frail Elderly Patients Can Benefit from Exercise. *Geriatric Times*, III(4).
- Skerry TM. (1997). Mechanical loading and bone: what sort of exercise is beneficial to the skeleton? *Bone*, 20, 179-181.
- Smeesters C, Hayes WC, & McMahon A. (2001). Disturbance type and gait speed affect fall direction and impact location. *J Biomech Eng*, 34, 309-317.
- Specker BL. (1996). Evidence for an interaction between calcium intake and physical activity on changes in bone mineral density. *J. Bone Miner. Res.*, 11, 1539-1544.
- Taaffe DR, Simonsick EM, Visser M, Volpato S, Nevitt MC, Cauley JA, Tylavsky FA, Harris TB, et al. (2003). Lower extremity physical performance and hip bone mineral density in elderly black and white men and women. Cross-sectional associations in the health ABC study. *J Gerontol. Med. Sci.*, 58A(10), 934-942.
- Tavares C. (2003). Variáveis dos Exercícios de Treino. In A. M. Produções (Ed.), *Prescrição de Exercício em Health Club* (2ª ed.). Cacém: A. Manz Produções.
- Topp R, Mikesky A, Wigglesworth J, Hold W, & Edwards J. (1993). The effect of a 12-week dynamic strength training program on gait velocity and balance of older adults. *Gerontologist*, 33, 501-506.
- Torvinen S, Kannus P, Sievänen H, Järvinen T, Pasanen M, Kontulainen S, Järvinen T, Järvinen M, et al. (2002a). Effect of a vibration exposure on muscular performance and body balance. Randomized cross-over study. *Clin Physiol Funct Imaging*, 22(2), 145-152.
- Torvinen S, Kannus P, Sievänen H, Järvinen T, Pasanen M, Kontulainen S, Järvinen T, Järvinen M, et al. (2002b). Effect of four-month vertical whole body vibration on performance and balance. *Med. Sc. Sports Exerc*, 34(9), 1523-1528.
- Torvinen S, Kannus P, Sievänen H, Järvinen T, Pasanen M, Kontulainen S, Nenonen A, Järvinen T, et al. (2003). Effect of 8-month vertical whole body vibration on bone, muscle performance, and body balance: a randomized controlled study. *J. Bone Miner. Res.*, 18(5), 876-884.
- Torvinen S, Sievanen H, Jarvinen TA, Pasanen M, Kontulainen S, & Kannus P. (2002). Effect of 4-min vertical whole body vibration on muscle performance and body balance. *Int J Sports Med*, Jul(23), 374-379.

- 
- Turner C. (1998). Three rules for bone adaptation to mechanical stimuli. *Bone*, 23, 299-407.
- Verschueren S, Roelants M, Delecluse C, Swinnen S, Vanderschueren D, & Boonen S. (2004). Effect of 6-month whole body vibration training on hip density, muscle strength, and postural control in postmenopausal women: a randomized controlled pilot study. *J. Bone Miner. Res.*, 19(3), 352-359.
- Weber R. (1997). Muskelstimulation durch vibration. *Leistungssport*, 27(1), 53-57.
- Yamazaki S, Ichimura S, Iwamoto J, Takeda T, & Toyama Y. (2004). Effect of walking exercise on bone metabolism in postmenopausal women with osteopenia/osteoporosis. *J Bone Miner Metab*, 22, 500-508.
- Yarasheskin KE, Zachwieja JJ, & Bier DM. (1993). Acute effects of resistance exercise on muscle protein synthesis rate in young and elderly men and women. *Am. J. Physiol*, 265, E210-214.
- Zhou S. (2000). Chronic adaptations to unilateral exercise: mechanisms of cross education. *Exerc Sport Sci Rev*, 28, 177-184.
- Zinkovsky A, Zoubova I, Schmidt K, & Zwieten K. (1998). Training of the skeletal-muscle apparatus of sportsmen through electrovibrostimulation. *Fysische Therapie*, 4, 9-11.