



**Faculteit Geneeskunde en Gezondheidswetenschappen  
Vakgroep Bewegings- en Sportwetenschappen**

**Literatuurstudie omtrent de effecten van  
“Whole Body Vibration”**

**Rapport opgesteld ten behoeve van Body Coach®**

**Prof. Dr. R. Philippaerts  
Prof. Dr. M. Lenoir  
Lic. K. Kenis  
Lic. J. De Smet**

**GENT 2004**

# Inhoudstafel

<b>1. VIBRATIETRAINING</b>	3
1.1. ONDERLIGGENDE FYSIOLOGISCHE MECHANISMEN	4
1.1.1. <b>Spierspoeltjes</b>	4
1.1.1.1. Bouw en ligging	4
1.1.1.2. Innervatie	5
1.1.1.3. Werking en functie van de spierspoeltjes	5
1.1.2. <b>Golgi-apparaten</b>	6
1.1.3. <b>Myotatische reflex</b>	6
1.1.4. <b>Peesreflex</b>	7
1.1.5. <b>Tonische Vibratie Reflex</b>	8
1.1.6. <b>Vibratietraining</b>	8
1.2. VIBRATIETRAINING IN DE PRAKTIJK	9
1.2.1. <b>Het mechanische principe van de trilplaat</b>	9
1.1.2. <b>Factoren die de impact van vibratietraining bepalen</b>	10
1.3. NEURALE EN MYOGENE AANPASSINGEN	11
<b>2. HET EFFECT VAN VIBRATIETRAINING OP HET MENSELIJK LICHAAM</b>	12
2.1. TOENAME VAN KRACHT	12
2.1.1. <b>Acute krachtwinst</b>	12
2.1.1.1. Onderzoeken met acute krachtwinst	13
2.1.1.2. Onderliggende mechanismen bij acute krachtwinst	14
2.1.2. <b>Chronische krachtwinst</b>	14
2.1.2.1. Onderzoeken naar chronische krachtwinst	14
2.1.3. <b>Hormonale aanpassing na vibratietraining</b>	16
2.1.4. <b>Lenigheid</b>	17
2.1.5. <b>Stabiliteit</b>	18
2.1.6. <b>Bloedflow</b>	18
2.1.7. <b>De Fysiologische invloed van vibratietraining op het menselijk lichaam</b>	19
2.1.7.1. O <sub>2</sub> -opname	19

2.1.7.2. Recuperatie	20
2.1.7.3. Hartslag	20
2.1.7.4. Lactaat	20
2.1.8. Osteoporose	21
<b>3. BESLUIT</b>	22
<b>4. REFERENTIELIJST</b>	24

# Literatuurstudie

## 1. VIBRATIETRAINING

Het verschijnsel 'vibratie' bestaat al tientallen jaren. Vroeger ontdekten arbeiders in fabrieken dat door het werken met allerlei machines ze klachten kregen aan de armspieren, het hoofd, de doorbloeding van de armen en andere fysieke ongemakken. De zogenaamde hand-arm vibratie kwetsuren zijn hiervan waarschijnlijk het best gekende voorbeeld (Cederlund et al., 2001; Haghberg, 2002).

Naast tal van negatieve effecten werden echter ook positieve effecten beschreven. Lundeberg et al. (1987) ontdekten dat vibraties de pijn konden verzachten.

In de medische wereld worden verschillende vormen van vibraties al jaren toegepast. Binnen de kinesitherapie worden vormen van vibraties (peesvibraties) gebruikt om het herstel van pezen te bevorderen, terwijl tappotages en schuddingen gebruikt worden om spieren en pezen te behandelen.

In de Sovjet Unie is in de jaren '80 grootschalig onderzoek gedaan naar de effecten van vibratietraining. Verschillende onderzoekers zoals Nasarov, Issurin en Tenenbaum hebben onderzoek verricht naar de effecten van vibraties op het menselijke lichaam (Issurin & Tenenbaum, 1994). Tot op heden wordt er nog dagelijks onderzoek gedaan naar de effecten van vibratietraining. Eén van de populaire hedendaagse onderzoeksthema's is het bestuderen of de vibratietraining dezelfde effecten kan veroorzaken als de klassieke krachttrainingsprogramma's.

## 1.1. ONDERLIGGENDE FYSIOLOGISCHE MECHANISMEN

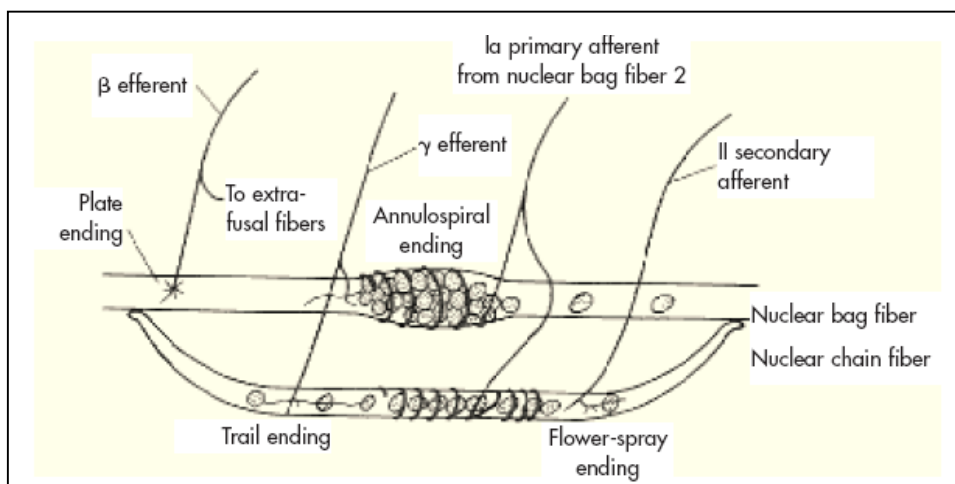
De trillingen worden als energie op ons lichaam gegenereerd waardoor de spieren continu worden geactiveerd. Er zijn verschillende onderliggende fysiologische mechanismen die bijdragen tot de bekomen effecten die men verkrijgt door het trainen op een trilplaat of vibratieplatform.

### 1.1.1. Spierspoeltjes

#### 1.1.1.1. Bouw en ligging

Spierspoeltjes zijn miniatuurspiertjes die gelegen zijn in de spierbuik van dwarsgestreepte skeletspieren. In de spierspoel bevinden zich een aantal intrafusale vezels die opgebouwd zijn uit contractiele elementen en omgeven worden door een spoelvormig kapsel. De andere omliggende vezels zijn de extrafusale spiervezels. Er zijn twee types intrafusale vezels, de kernzakvezels en de kernkettingvezels. De kernzakvezels worden ingedeeld in twee groepen. De dynamische, die na rek hun oorspronkelijke lengte terug innemen en de statische die niet of nauwelijks terugkeren tot hun oorspronkelijke lengte. In een spierspoeltje bevinden zich één van elk type kernzakvezels.

De kernkettingvezels hebben dezelfde eigenschap als de statische kernzakvezels. De fasische respons wordt bijgevolg geregeld door de dynamische kernzakvezels, daarentegen wordt de tonische respons van een spierspoel geregeld door de statische kernzakvezels en de kernkettingvezels (Bernards, 1985; Burgerhout et al., 1995). De onderstaande figuur toont duidelijk de bouw en innervatie van de spierspoeltjes.



Figuur 1. Bouw en innervatie van een spierspoeltje

### 1.1.1.2. Innervatie

Een spierspoel wordt geïnnerveerd door verschillende sensorische en motorische neuronen. Binnen de sensorische motoneuronen maakt men een onderscheid tussen de Ia-afferenten en II afferenten die beiden contact maken met het middelste gedeelte van de intrafusale vezels.

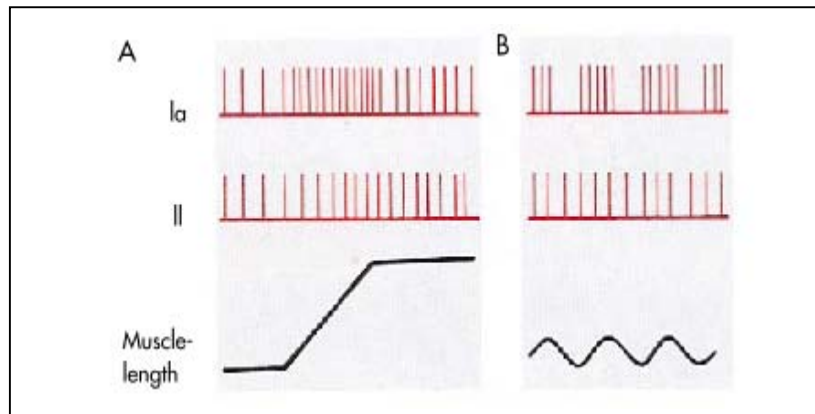
De motorische zenuwvezels of motoneuronen maken contact met alle polaire delen van de intrafusale vezels. Ook hier onderscheidt men twee soorten, namelijk de dynamische  $\gamma$ -motoneuronen en de statische  $\gamma$ -motoneuronen. Ieder type intrafusale vezels wordt door één type fusimotoneuronen geïnnerveerd. De dynamische kernzakvezels innervieren de dynamische  $\gamma$ -neuronen terwijl de statische kernzakvezels en de kernkettingvezels de statische  $\gamma$ -neuronen innervieren (Bernards, 1985; Burgerhout et al., 1995).

### 1.1.1.3 Werking en functie van de spierspoeltjes

De spierspoelafferenten treden in werking als het middelste gedeelte van de intrafusale vezels wordt uitgerokken. Dit kan enerzijds door een passieve uitrekking van de spier, anderzijds door een actieve verkorting van de polaire delen van de intrafusale vezels. Dit laatste vindt plaats als de motorische zenuwvezels geprikkeld worden.

De motorische zenuwvezels hebben een versterkende of verzwakkende invloed op de Ia- en II afferenten. De  $\gamma$ -dynamische motoneuronen zorgen voor een versterking van de fasische respons en een verzwakking van de tonische respons van de Ia-afferenten. De  $\gamma$ -statische motoneuronen verzwakken de fasische en versterken de tonische respons van de Ia-afferenten. Bij een constante  $\gamma$ -activiteit is de statische respons evenredig met de lengte van de spierspoel en dus ook evenredig met de lengte van de spier. Verlenging van de spier verhoogt de ontladingsfrequentie terwijl verkorting deze frequentie verlaagt. Snelle kleine veranderingen beïnvloeden vooral de Ia-afferenten (fasische respons). Grote trage veranderingen worden vooral door de II-afferenten geregistreerd (tonische respons). Deze veranderingen worden zeer goed weergegeven in de onderstaande figuur (Bernards, 1985; Burgerhout et al., 1995).

Bij vibratietraining worden de spieren voor 100% aangesproken en treden er heel snelle contracties op. Als gevolg hiervan stijgt de ontladingsfrequentie van de Ia-afferenten en contraheren de spieren beter door de verhoogde activiteit van de  $\gamma$ -dynamische neuronen. Ook inhibeert vibratie de contractie van de antagonisten via de Ia-inhiberende neuronen (Cardinale et al., 2003).



Figuur 2. Respons van primaire en secundaire afferenten op de lineaire en sinusoïdale verandering van de lengte van de spier

Spierspoeltjes functioneren dus als belangrijke proprioceptoren en hebben vooral betrekking tot de gewrichten die door de spier worden overspannen. De werkelijke functie is het registreren van de stand van een gewricht en van de snelheid en de richting van beweging op gewrichtsniveau, omdat de lengte van de spier wordt bepaald door de stand van het gewricht waarover de spier werkt (Bernards, 1985; Burgerhout et al., 1995).

### 1.1.2. Golgi- apparaten

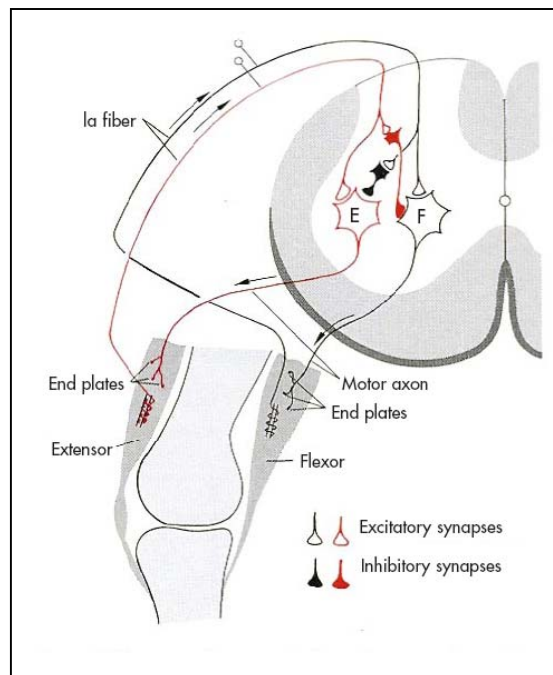
De golgi-apparaten zijn enerzijds gelokaliseerd in de overgang tussen spier en pees, maar tevens ook in het bindweefsel rond het gewricht. De golgi-apparaten lopen in serie met spier en pees en detecteren bijgevolg zowel passieve als actieve contracties. Contractie van één motorische eenheid zal leiden tot de excitatie van tenminste één peessensor. De afferente vezels van de golgi-apparaten die naar het Centraal Zenuwstelsel (CZS) gaan geven informatie omtrent de spanning van de spieren. De golgi-apparaten functioneren dus als spanningsdetectoren. De feedback die wordt gegeven is negatief. Dit betekent dat het golgi-apparaat de efferente zenuwen inhibeert bij een stijging van de spierspanning waardoor de spierspanning daalt. Het golgi-apparaat zorgt er dus voor dat de spanning niet te groot wordt (Bernards, 1985; Burgerhout et al., 1995).

### 1.1.3. Myotatische reflex

Indien een passieve rekking van een spier deze spier doet contraheren, spreekt men van een myotatische reflex. Een voldoende  $\gamma$ -activatie tijdens de uitrekking van de spier en de

spierspoeltjes kan leiden tot een excitatie van de Ia-afferenten. Deze geven vervolgens een prikkel aan de  $\alpha$ -motoneuronen in het ruggemerg, waardoor de extrafusale vezels van de spier contraheren. Onder normale omstandigheden gaat dit gepaard met een ontspanning van de antagonisten.

De kniepeesreflex is een algemeen bekend voorbeeld van de myotatische reflex (Figuur.3). Het geven van een tik (met een reflexhamertje) op de knie zorgt voor een plotse rekking van de spier zodat de spierspoeltjes contraheren. Ook bij het staan en het gaan maakt ons lichaam gebruik van deze reflex (Bernards, 1985; Burgerhout et al., 1995).



Figuur.3 synapsen van afferente en efferente zenuwvezels

#### 1.1.4. Peesreflex

Het fenomeen dat een blijvende samentrekking van de spier verhindert, is de peesreflex. De peesreflex is het tegenovergestelde van de myotatische reflex: excitatie van de peessenoren zorgt voor inhibitie van de  $\alpha$ - motoneuronen. Een voorbeeld zal duidelijk maken wat deze reflex teweeg brengt: als men een been probeert te buigen, voelt men een weerstand die dit wil tegengaan. Hoe harder men het been wil buigen hoe meer weerstand men zal ondervinden, tot de weerstand op een bepaald ogenblik volledig wegvalt. Dit is gekend als het knipmesfenomeen en wordt veroorzaakt door de peesreflex van de golgi-apparaten.

### 1.1.5. Tonische Vibratie Reflex

De tonische vibratiereflex die opgewekt wordt door mechanische trillingen gaat gepaard met een activatie van de spierspoeltjes en komt tussen in de neurale signalen die de Ia-afferente neuronen geven. Bovendien activeert de tonische vibratiereflex de spiervezels via de grote  $\alpha$ -motorneuronen. De tonische vibratiereflex is ook in staat om een stijgend aantal motorische eenheden aan te spreken via activatie van de spierspoeltjes en polysynaptische banen. Dit resulteert in een tijdelijke stijging van de spieractiviteit. De langdurige activatie van de spierspoeltjes zorgt echter voor spiervermoeidheid. Dit is op zijn beurt dan weer verantwoordelijk voor een daling van de EMG activiteit, daling van de afvuursnelheden van de motorische eenheden en dalende spiercontracties (Torvinen et al, 2002).

De tonische vibratiereflex is te vergelijken de monosynaptische myotatische kniepeesreflex.

### 1.1.6. Vibratietraining

De onderliggende mechanismen van vibratietraining zijn tot de dag van vandaag nog steeds niet volledig achterhaald.

Het mechanische doel van vibratie is het teweegbrengen van snelle en korte veranderingen in de lengte van het spier-peescomplex. Deze “storing” wordt waargenomen door de sensorische receptoren (spierspoeltjes en golgi-apparaten) die de spierstijfheid registeren en de musculaire activiteit, afkomstig van de vibraties, trachten tegen te werken.

Vibraties induceren een reflexmatige spiercontractie, de tonische vibratiereflex. De veranderingen van de spier zorgen dat de spierspoeltjes geactiveerd worden. Als gevolg hiervan verbetert de myotatische reflex en worden er meer  $\alpha$ -motoneuronen geactiveerd die zorgen voor betere en meer gesynchroniseerde spiercontracties. Men kan dit fenomeen ook waarnemen door een verhoogde EMG-activiteit van de spieren tijdens vibraties.

De Ia-afferenten van de spierspoeltjes zijn veel gevoeliger voor vibraties dan de II-afferenten en golgi-apparaten. Vibraties worden niet enkel ontvangen door spierspoeltjes maar ook door de huid, de gewrichten en de II-afferenten. Bijgevolg worden al deze systemen geprikkeld door zowel lokale vibratie als vibraties op het hele lichaam en verbeteren de gevoeligheid van de I-afferenten die op hun beurt zorgen voor snellere en krachtigere contracties.

De invloed van vibraties op het centrale zenuwstelsel mag niet achterwege gelaten worden. In enkele onderzoeken werd aangetoond dat vibraties aan verschillende frequenties bepaalde delen van de hersenen activeren en stimuleren. Er wordt zelfs verondersteld dat een

krachttoename na vibraties te wijten zijn aan zowel een verbetering van de myotatische reflex als aan de geëxciteerde staat van de somatosensorische cortex. De onderliggende mechanismen omtrent de specifieke neurale aanpassingen die gepaard gaan met vibratietraining zijn tot op heden nog niet volledig duidelijk (Cardinale & Bosco, 2003).

In de volgende delen wordt nader ingegaan op de werking van vibratietraining in de praktijk. Allereerst wordt het mechanische principe van de trilplaat besproken. Vervolgens worden de factoren die de impact van de vibraties op het menselijke lichaam bepalen uitgediept. Als laatste worden de neurale en myogene aanpassingen besproken die verder een invloed zullen hebben op verschillende factoren zoals kracht en lenigheid.

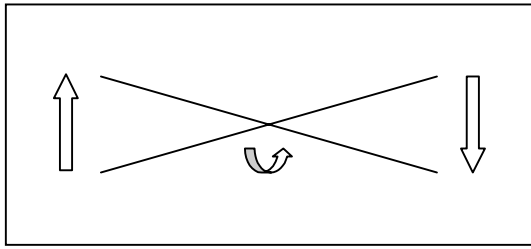
## 1.2 VIBRATIETRAINING IN DE PRAKTIJK

### 1.2.1. **Het mechanische principe van de trilplaat**

Er zijn vier principes van vibratietraining. Het algemene principe bij deze vier methoden is echter eenduidig; er worden vibraties overgezet op de spieren zodat deze zich continu aan- en ontspannen. Als gevolg hiervan worden alle motorische eenheden aangesproken. Dit leidt tot vermoeidheid van de motorische eenheden die moeten regenereren. Door deze vorm van supercompensatie zal een nieuwe prikkel zorgen voor een krachtwinst.

Het eerste principe is het kantelprincipe (Figuur. 4). Dit bestaat uit een plaat waarbij men alternerend een belasting links en rechts oplegt. Deze plaat kantelt dus, afwisselend links en rechts, met een gelijke amplitude.

Het tweede principe is de verticale trilplaat (Figuur. 5). In tegenstelling tot het kantelprincipe wordt hierbij de belasting gelijktijdig aan beide zijden opgelegd.



Figuur 4. Het kantelprincipe, afwisselend onder de linkse en rechtse voet vindt een opwaartse kracht plaats.



Figuur 5. Het verticale trilprincipe, waar men gelijktijdig een opwaartse kracht rechts en links oplegt.

Een derde principe van vibratietraining is het overbrengen van trillingen via een vibrator op spier en pees. Zo kan men de spieren en pezen meer geïsoleerd trainen. De bekomen effecten zijn vergelijkbaar met deze van de trilplaten (Issurin et al., 1994).

Een laatste principe dat niet werkt met vibraties maar ondanks het hanteren van een ander principe toch vergelijkbaar is met de vibraties, is de elektronenstimulatie. Zowel bij elektronenstimulatie als bij vibratietraining wordt een grotere aanspraak gemaakt op het aantal motorische eenheden. Müller et al. (2003) hebben deze twee technieken met elkaar vergeleken. Er trad bij beide technieken een prestatieverbetering op, maar dit kon niet significant aangetoond worden.

### 1.2.2. Factoren die de impact van vibratietraining bepalen

Het effect van de vibratietraining wordt bepaald door een aantal factoren. Men werkt steeds aan een bepaalde trilfrequentie, dit zijn het aantal trillingen per seconde, en met een amplitude, dit is de grootte van de uitwijking. De duur van de vibratietraining is afhankelijk van de gebruikte frequentie en amplitude; een korte duur gaat vaker gepaard met een hogere frequentie en/of een grotere amplitude. De versnelling, die afhankelijk is van de frequentie en de amplitude, bepaalt mee de intensiteit van de oefening, deze wordt uitgedrukt in  $m/s^2$  en is eigenlijk de kracht van beweging die wordt uitgedrukt in de zwaartekracht  $F_z$ . De laatste bepalende factor is de positie op het apparaat, met andere woorden in welke houding staat men op het apparaat. Al deze factoren samen bepalen dus de intensiteit van de belasting ([www.power-plate.be](http://www.power-plate.be)).

De frequenties in de tot nu toe gevoerde onderzoeken variëren van 15 Hz tot 160 Hz (Torvinen et al, 2002; Cafarelli et al., 1986). De meest optimale frequentie waaraan men kan werken tijdens vibratietraining ligt rond de 30 à 40 Hz. Onder de 20 Hz trainen is af te raden

wegens de mogelijkheid op orgaan–resonantie (Van Diemen, 2003). Vanaf ongeveer 24 Hz gaan de spieren reflexmatig aanspannen. Dit fenomeen slaat terug op de tonische vibratiereflex ([www.galileo2000.nl](http://www.galileo2000.nl)). Vibratie aan een lage frequentie zorgt er tevens voor dat deze trillingen worden doorgegeven via de kinematische keten en dus niet via de elastische elementen (Issurin et al., 1999). Trillingen aan 40 tot 50 Hz worden beschouwd als ideaal om twee taken te combineren, namelijk de overdracht van vibraties en de spieractivatie zowel voor en tijdens de vrijwillige contracties (Issurin & Tenenbaum, 1999). Vanaf 40 Hz vindt er ook een synchronisatie van de motorneuronen plaats (Issurin et al., 1994). Andere fabrikanten van vibratietoestellen beweren daarentegen dat het trainen aan frequentie van 30 Hz het absolute maximum is. Bekend is dat de snelste spiervezels ongeveer 0,036 seconden nodig hebben om te spannen en te ontspannen. Dit komt overeen met een frequentie van ongeveer 28 Hz. Stimulaties boven deze frequentie kunnen dan ook volgens deze werknemers niet goed verwerkt worden. Toch zien we dat in de tot nu toe gevoerde onderzoeken de meeste positieve effecten zijn gevonden bij frequenties tussen de 30 en 40 Hz (Torvinen et al., 2003; Delecluse et al., 2003; 2004).

De amplitudes van de al gedane onderzoeken variëren van 0,2 mm tot 12 mm (Martin et al., 1997; Rittweger et al., 2002). Hoe groter de amplitude, hoe groter de zwaartekracht en de versnelling zullen zijn die op het lichaam inwerken. Een grotere zwaartekracht zorgt voor een grotere spierwerking, een kleinere zwaartekracht zorgt op zijn beurt voor een mindere spierwerking (Cardinale et al., 2003). De amplitude bepaalt dus ook mede de versnelling, de versnelling is immers het product van frequentie en amplitude per seconde. De gerapporteerde versnellingen in de tot nu toe gevoerde onderzoeken variëren van 3,5 g tot 17 g (Cardinale et al., 2000; Rittweger et al., 2002) waarbij g de gravitatieversnelling is en  $9,81\text{m/s}^2$  bedraagt. Vibraties zorgen dus voor een verandering van de grootte van de inwerkende zwaartekracht op ons lichaam.

### 1.3. NEURALE EN MYOGENE AANPASSINGEN

Onderzoek heeft aangetoond dat bij weerstandstraining de eerste fase van aanpassing veroorzaakt wordt door een verbetering van de neurale factoren. De intramusculaire factoren worden belangrijker naarmate de trainingen zich verderzetten over enkele maanden. De responsen van krachtraining worden dus zowel door neurogene en myogene factoren beïnvloed. (Delecluse et al., 2003).

Bosco et al. (1999) vermelden in hun onderzoek gelijkaardige discussiepunten. Vibratietraining zou zorgen voor een stijgende neurale activiteit wat een verbetering van het neuromusculair gedrag tot gevolg zou hebben. Dit resulteert op zijn beurt in betere spieractiviteit. De enige manier die tot nu toe bekend is om neurale activiteit in een spier te meten is de EMG. Vele onderzoekers maken in hun onderzoek dan ook gebruik van deze techniek (Torvinen et al., 2002).

## **2. HET EFFECT VAN VIBRATIETRAINING OP HET MENSELIJK LICHAAM**

De laatste jaren zijn er tal van onderzoeken uitgevoerd over de effecten van vibratietraining. Het belangrijkste effect is de toename in kracht (Issurin & Tenebaum, 1999). Ook zijn effecten van onder andere lenigheid en osteoporose al aangetoond (Issurin et al., 1994; Eisman, 2001). Op vele websites van producenten van vibratietoestellen is informatie te vinden over de bestrijding van onder andere cellulitis, vetafname, verminderde last van constipatie en bestrijding van incontinentie. Veel van deze effecten zijn echter gissingen vermits deze nog niet wetenschappelijk werden aangetoond.

### **2.1. TOENAME VAN KRACHT**

De meest gebruikte meetinstrumenten teruggevonden in de literatuur, om krachtmetingen uit te voeren zijn de Leg Press, de Biceps Curl, de handknijpkracht, de sprongkracht en de spronghoogte. Vaak gebruikt men ook een EMG onderzoek om onrechtstreeks de kracht te meten. Deze meting registreert namelijk de spieractiviteit in het lichaam (Issurin et al., 1999; Torvinen et al., 2002; Rittweger et al.; 2003). Met deze toestellen en methodes trachten wetenschappers aan te tonen of er effecten zijn van vibratietraining op het lichaam. In deze context gaat men dus onderzoeken of vibratietraining de krachtontwikkeling van het menselijk lichaam doet toenemen.

#### **2.1.1. Acute krachtwinst**

In de hierna volgende onderzoeken die worden besproken toont men aan dat, vlak na het trainen op een vibratieplatform tegen een welbepaalde amplitude en frequentie, er

positieve effecten optreden. Deze positieve effecten manifesteren zich in een toename van de krachtontwikkeling van spieren. De metingen die bij deze onderzoeken worden afgenomen hebben meestal plaats onmiddellijk na de interventie op het vibratieplatform (Bosco et al., 1999). Issurin en Tenenbaum (1999) doen de metingen in hun onderzoek binnen de 15 minuten na de trainingssessie.

#### 2.1.1.1. Onderzoeken met acute krachtwinst

Een acute verbetering van het spiervermogen werd aangetoond door Issurin & Tenenbaum (1999). Zij onderzochten wat de krachtwinst was na een interventie van vibratie tijdens de bilaterale biceps curl. De atleten volbrachten twee aparte series van drie sets. Enkel de tweede set bestond uit vibraties van 44 Hz. Deze set werd dan ook geregistreerd. De twee andere series bestonden uit de biceps curl zonder extra vibraties. De acute effecten van het onderzoek werden bekomen door het gemiddelde vermogen van de biceps uit de eerste set, te vergelijken met het maximale vermogen uit de tweede set. Amateur- en elite- atleten vertoonden een respectievelijke stijging in maximale kracht van 10,4% en 7,9%. Als men de vibratiegroep met de niet-vibratiegroep vergeleek, werd een significant verschil zowel wat betreft de gemiddelde als de maximale kracht gevonden.

Gelijkaardige resultaten werden gevonden in de studie van Bosco et al. (1999b). Uit dit onderzoek bleek dat de spierkracht bij 6 vrouwelijke volleybalspeelsters toenam na een interventie van vibratietraining. Gedurende 10 maal 60 seconden stonden de speelsters met één been op de trilplaat, en dit aan een frequentie en amplitude van respectievelijk 26 Hz en 10 mm. Dit was het experimentele been, het andere been werd beschouwd als het controlebeen. Na metingen met de dynamische leg press bleken zowel de gemiddelde kracht, de gemiddelde snelheid en het gemiddelde vermogen van de beenspieren van het experimentele been allen significant beter te zijn tegenover het controlebeen.

Bovendien onderzochten zij wat de krachtwinst en de EMG-activiteit van de armflexoren was bij 12 elite bokkers. Gedurende vijf minuten ondergingen de proefpersonen de behandeling bij een frequentie en amplitude van 30 Hz en 6 mm. De resultaten in dit onderzoek toonden aan dat er een significante krachtwinst was in de arm die de vibratiebehandeling kreeg. Wat betreft de hoge EMG activiteit bij dit onderzoek concludeerde men dat tijdens de behandeling er een enorme stijging was van neurale activiteit (Bosco et al., 1999a).

Ook Torvinen et al. (2002) hebben gelijkaardige resultaten gevonden. Na een interventie van 4 minuten op de trilplaat werden een 6-tal prestatietesten uitgevoerd. De beenstrekkkracht en

de verticale hoogtesprong stegen beiden met respectievelijk 3,2% en 2,5%. De handknijpkracht vertoonde echter geen verbetering.

#### 2.1.1.2 Onderliggende mechanismen bij acute krachtwinst

De voorgaande onderzoeken vertoonden dus duidelijk een acute verbetering van de spierkracht. Bosco et al. (1999b) vermeldden in hun onderzoek dat de verbetering in hun onderzoek wordt veroorzaakt door neurale factoren. In een ander onderzoek vermeldden Bosco et al. (1999a) dat EMG analyses aantoonde dat tijdens de vibraties er een enorme stijging waar te nemen is in neurale activiteit. Deze waarden konden toenemen tot twee maal de beginwaarden. Dit soort van behandeling kan volgens de onderzoekers het neuromusculair systeem meer verbeteren dan andere behandelingen die het neuromusculair gedrag verbeteren zoals kracht- en weerstandstraining.

Ook Delecluse et al. (2003) en Roelants et al. (2004) vermeldden in hun onderzoek dat de eerste aanpassingen gebeuren op neurale niveau en pas later op myogeen niveau.

De verhoogde afscheiding van hormonen tijdens vibratietraining zou eveneens een rol spelen in de verhoogde neurale activiteit (Cardindale & Bosco, 2003).

#### 2.1.2. Chronische krachtwinst

Naast de onderzoeken naar de acute effecten zijn er ook tal van langdurige onderzoeken geweest naar de effecten van vibratietraining. De tijd van interventie varieert tussen enkele dagen, weken, tot acht maanden (Bosco et al., 1998; Issurin et al, 1994; Torvinen et al. 2003). Men tracht hierbij aan te tonen dat er ook op lange termijn een krachtwinst is door vibratietraining.

##### 2.1.2.1. Onderzoeken naar chronische krachtwinst

Chronische behandelingen hebben aangetoond dat er een verbetering is in kracht. Zo onderzochten Issurin et al. (1994) het effect, bij 28 mannelijke studenten Lichamelijke Opvoeding, van drie weken vibratietraining op de maximale kracht en lenigheid. De frequentie en amplitude in dit onderzoek waren respectievelijk 44 Hz en 3 mm. Eén groep deed gewone oefeningen voor armkracht en vibratie-oefeningen voor de lenigheid van de benen. Een tweede groep deed net het omgekeerde, vibratie-oefeningen voor de armkracht en

gewone oefeningen voor de lenigheid van de benen. Een laatste groep kreeg enkele irrelevante trainingen. Een stijging van de maximale isotone strekkracht van 49,8% bij de vibratiegroep tegen een stijging van 16,1% bij de conventionele groep, toonde aan dat vibratietraining op langere termijn ook effect heeft. De effecten van de vibratie op lenigheid worden besproken bij lenigheid.

Bosco et al. (1998a) toonden in hun onderzoek gelijkaardige stijgingen in kracht aan. Een tien dagen durende interventie van vibratietraining zorgde voor een toename van de sprongkracht. Gedurende de tussenkomst trainden de proefpersonen, die fysiek actief waren, elke dag 10 minuten aan een frequentie van 26 Hz en een amplitude van 10 mm. De controlegroep voerde noch krachtoefeningen noch krachttraining uit. De experimentele groep vertoonde in tegenstelling tot de controlegroep een significante verbetering van de spronghoogte en sprongkracht met 12%. Het gemiddelde vermogen van de beenspieren steeg op zijn beurt met 6,1%.

Anderzijds hebben onderzoekers ook kunnen aantonen dat de effecten van langdurige vibratietraining gering zijn. Torvinen et al. (2002) hebben nagegaan wat de effecten van 4 en 8 maanden vibratietraining zijn. 56 Jonge en gezonde vrijwilligers namen deel aan deze studie. De resultaten verschillen sterk van deze van de hiervoor besproken onderzoeken. Gedurende vier maanden trainden de personen 3 tot 5 maal per week gedurende vier minuten op een trilplaat met een frequentie die, gedurende deze 4 maanden, steeg van 25 Hz tot 40 Hz. De amplitude bedroeg de hele interventie 2 mm. Zes prestatiebepalende factoren werden gemeten na de interventie. Vier maanden vibratietraining resulteerde in een stijging van 8,5% in spronghoogte. De strekkracht van de benen verbeterde met 3,7% na twee maanden, maar na vier maanden was het effect zo goed als verdwenen. De handknijpkracht vertoonde eveneens geen verbetering. Hetzelfde protocol werd opgesteld gedurende 8 maanden. In dit onderzoek bleef de amplitude hetzelfde als in het voorgaande onderzoek, de frequentie steeg echter tot 45 Hz. Een verbetering van 7,8% bij spronghoogte en geen effect voor de strekkracht van de onderste ledematen waren de belangrijkste resultaten. De Ruiters et al. (2003) vonden gelijkaardige resultaten tijdens een 11 weken durend programma bij 20 jonge en fysiek actieve personen.

Delecluse et al. (2003) verkregen dan weer heel andere resultaten. Ze onderzochten de effecten van vibratietraining en weerstandstraining gedurende een interventie van 12 weken. In totaal namen er 67 ongetrainde vrouwen deel aan dit onderzoek. Eén groep trainde op het vibratieplatform, een tweede weerstandsgroep trainde met een leg press en een leg extension toestel. De twee laatste groepen bestonden uit een placebogroep en een controlegroep. De

trainingsintensiteit in dit onderzoek steeg door de rust te verminderen, de amplitude (2,5 – 5 mm) en/of de frequentie (35 – 40 Hz) te laten stijgen. De resultaten vertoonden een significante stijging van de isometrische en dynamische kniestrekkkracht voor zowel de vibratiegroep als de weerstandgroep. De isometrische kracht steeg bij de vibratie- en de weerstandsgroep met respectievelijk  $16,6 \pm 10,8\%$  en  $14,4 \pm 6,2\%$ . De dynamische kniestrekkkracht steeg met  $9,0 \pm 3,2\%$  en  $7,0 \pm 6,2\%$  voor de vibratie- en de weerstandsgroep. Daarentegen vertoonden zowel de placebogroep en de controlegroep geen significante verbeteringen. De sprongkracht verbeterde met  $7,6 \pm 4,3\%$ , maar dit enkel in de vibratiegroep. Langdurige behandelingen met vibratietraining vertonen, in tegenstelling tot de onderzoeken naar acute effecten, meer uiteenlopende resultaten. Mogelijke oorzaken die dit verklaren kunnen gezocht worden bij de intensiteit van de trainingsprogramma's. De vraag kan gesteld worden of de intensiteit van de protocols voldoende werd aangepast om een stijgende intensiteit en het effect van supercompensatie te bereiken en te behouden.

Recente onderzoeken tonen aan dat de neurale aanpassingen slechts van korte duur zijn (Torvinen et al., 2002). Het is geweten dat op spierniveau eerst neurogene en later pas myogene aanpassingen optreden (Delecluse et al., 2003).

### **2.1.3. Hormonale aanpassing na vibratietraining**

Onderzoek heeft uitgewezen dat na training op een trilplaat de concentraties van het hormoon testosteron en het groeihormoon toenemen. De concentratie van het hormoon cortisol daalt echter.

De concentratie van testosteron verschilt sterk bij man en vrouw, bij de vrouw is de concentratie ongeveer 10 tot 20 keer lager dan bij de man.

Testosteron heeft een grote invloed op het lichaam bij zowel man als vrouw. Een tekort zorgt voor verminderde vitaliteit, depressieve neiging, verminderde levenslust, humeur - en karakterveranderingen, verminderde spierkracht en concentratievermogen. Een optimale testosteronconcentratie daarentegen zorgt voor verbetering van het geheugen, het slaappatroon en een afname in vetmassa ten voordele van de spiermassa.

Het groeihormoon wordt aangemaakt in de hypofyse. Een slecht functioneren van de hypofyse zorgt voor een verminderde productie en hiermee gepaard gaande verminderde secretie. De belangrijkste effecten van een goede concentratie van het groeihormoon en IGF – 1 zijn: het opbouwen van de spieren, het versterken van het bot, instandhouden en versterken

van de hartfunctie, een afname van de hoeveelheid vet en regelt de vochtbalans in ons lichaam.

Vibratietraining zorgt voor een daling van het stresshormoon cortisol. Het speelt een belangrijke rol bij onder andere het verteringsstelsel, het immuunsysteem en het slaap – waakritme. Een verhoogde cortisol-concentratie wordt waargenomen tijdens fysieke inspanning, waarbij cortisol ervoor zorgt dat we beter kunnen omgaan met stressvolle omstandigheden. Door de aanwezigheid van cortisol in het lichaam worden er in de spieren eiwitten afgebroken, waardoor er energie (in de vorm van glucose) wordt aangemaakt (Bosco et al., 2000).

#### **2.1.4. Lenigheid**

De lenigheid werd tot nu in slechts in enkele onderzoeken bestudeerd. Er zijn twee verschillende meetmethodes die tot nu toe gebruikt werden. De lenigheid van het bovenlichaam meet men met de buig en reik test, een andere test was de afstand meten tussen beide hielen in een zijlingse split (Issurin et al., 1994).

Issurin et al. (1994) toonden aan dat de lenigheid verbeterde na een interventie van vibratietraining. Ze vergeleken oefeningen die men op de trilplaat uitvoert met gewone conventionele turnoefeningen. Naast een krachtwinst kon men aantonen dat vibratietraining een toename van de lenigheid van de beenspieren tot gevolg had. De experimentele groep steeg met 8,7% tegenover een stijging van 1,2% bij de controlegroep en 2,4% bij de groep die trainde volgens de conventionele methode. De flexie van het bovenlichaam steeg in dit onderzoek respectievelijk met 43,6%, 5,8% en 19,2%. Verdere onderzoeken naar de effecten van vibratietraining op de lenigheid van de spieren ontbreken.

Als mogelijke verklaringen voor deze stijging in lenigheid en flexibiliteit halen de onderzoekers drie zaken aan. Ten eerste is er een stijging van de pijndrempel, vervolgens een stijgende bloeddorstrooming die gepaard gaat met een temperatuurstijging. Als laatste is er een relaxatie van de gestretchte spier die werd geprikkeld door vibraties. Deze effecten hebben tot gevolg dat de spier zich opwarmt en zo de elasticiteit alsook de flexibiliteit en lenigheid van de spier verbetert.

### 2.1.5. Stabiliteit

De metingen voor stabiliteit en dynamische stabiliteit die men in de verschillende onderzoeken gebruiken zijn de postural sway en de shuttle run.

Torvinen et al. (2002, 2003) gebruikten deze testen tijdens hun interventie van 4 en 8 maanden. Bij de postural sway staan de proefpersonen op een labiel platform (Biodex Stability System), de ogen zijn geopend en de armen naast het lichaam. Het platform heeft 8 verschillende stabiliteitsniveaus, niveau 8 is het meest stabiele en niveau 1 het meest labiele. Hierdoor verkrijgt men dus een numerieke index die aantoont in hoeverre het lichaamszwaartepunt afwijkt van het middelpunt.

De shuttle run die men heeft gebruikt in hun onderzoek verliep over een afstand van 30 meter en registreerde de dynamische balans en de beweeglijkheid. De proefpersonen moesten zo snel mogelijk 6 maal tussen twee aanduidingen lopen die men over een afstand van 4 meter geplaatst had. Hier moest men telkens de grond tikken. Als laatste moest men 6 meter tot voorbij de finishlijn lopen. Zowel bij de studie die 4 maanden heeft geduurd, als die van 8 maanden zijn geen verschillen aangetoond voor wat betreft de stabiliteit en de behendigheid.

Torvinen et al. (2002) hebben een gelijkaardig onderzoek gedaan naar de effecten van 4 minuten vibratietraining op de kracht en de stabiliteit. De resultaten zijn min of meer van dezelfde aard. De vibraties tot 30 Hz hadden na 2 minuten wel een effect op de stabiliteit, maar deze waren na een uur verdwenen.

### 2.1.6. Bloedflow

Kerschan-Schindl et al. (2001) hebben onderzocht of vibratietraining veranderingen teweeg brengt in het bloedvaatstelsel. Gedurende negen minuten moesten de 20 personen op een trilplaat staan en werden volgende parameters geregistreerd: hartslag, bloeddruk en de beweging van het bloedvolume. De hartslag werd gemeten met een Polar hartslagmeter, de bloeddruk werd op zijn beurt gemeten met de conventionele manometertechniek. De bloedflow werd geregistreerd door middel van Power Doppler Index (PDI). Deze techniek geeft een beeld van de hoeveelheid bloed die zich gedurende een bepaalde tijdspanne verplaatst in het lichaam. Bovendien geeft men aan de hand van het aantal gekleurde vezels die op een bepaald gebied van het lichaam in beeld komen een bepaalde score, namelijk de blush- score.

Men verkreeg bij dit onderzoek de volgende resultaten. De hartslag, de systolische en de diastolische bloeddruk vertoonden geen significante verschillen vergeleken met de beginwaarden. De PDI en de blush score van vóór de interventie, vertoonden beiden een significant verschil ten opzichte van na de vibratietraining. De meeste proefpersonen vertoonden eveneens roodheid van de huid tijdens en vlak na de vibraties. Na enkele minuten verdween deze roodheid.

Vibraties zorgen voor het verwijden van de capillairen en hiermee gepaard gaande een stijgende blush-score. Het verwijden van deze bloedvaten vermindert de weerstand en verhoogt de snelheid. Men veronderstelt eveneens dat vibraties een effect hebben op de viscositeit van het bloed. Door de vibraties zou het bloed dunner en dus meer vloeibaar worden waardoor de snelheid op zich al toeneemt. Rittweger et al. (2000) vermelden in hun onderzoek gelijkaardige resultaten.

Men weet dat vibraties zorgen voor een vasodilatatie van de bloedvaten, maar of dit een verband houdt met het rood worden van de huid en de hiermee gepaard gaande jeuk is tot op dit moment voor de wetenschappers nog een vraag.

### **2.1.7. De fysiologische invloed van vibratietraining op het menselijk lichaam**

De laatste jaren zijn onderzoekers zich, naast effecten van kracht, lenigheid,... meer gaan verdiepen in andere effecten van vibratietraining op het menselijke lichaam. Men heeft zich onder meer afgevraagd of er enige invloed is van frequentie, amplitude en toegevoegde gewichten bij vibratietraining op het metabole stelsel van proefpersonen. Andere onderzoeken die gevoerd zijn, gaan na of er effecten zijn van vibratietraining op de vermoeidheid van het menselijke lichaam.

#### **2.1.7.1. O<sub>2</sub> - opname**

Rittweger et al. (2001, 2003) onderzochten de effecten van verandering van frequentie, amplitude en gewicht op het metabole stelsel van het menselijk lichaam. 18 Mannelijke proefpersonen moesten drie verschillende sessies afleggen, één voor frequentie, één voor amplitude en één voor extra gewicht. Tijdens elke sessie moest men gedurende vier minuten op een trilplaat staan. Tussen de drie sessies werd een rustperiode voorzien van 10 tot 15 minuten. Een eerste resultaat toonde aan dat, net zoals bij fietsen en lopen op loopband, er na 3 minuten een steady- state in O<sub>2</sub>-opname optrad. Wat betreft de frequentie kon men enkele

significante verschillen aantonen. Zo was de O<sub>2</sub>-opname bij 18 Hz significant groter dan bij 26 Hz, die op zijn beurt significant lager was dan bij 34 Hz. Bij de studie naar de verschillen in amplitude kon men aantonen dat het verschil in O<sub>2</sub>-opname van 5 naar 7,5 mm groter was dan van 2,5 naar 5 mm. Ook voor het toevoegen van extra gewichten bleek er een verschil in O<sub>2</sub>-opname te zijn. Als men een extra gewicht op de schouders plaatste werd er meer zuurstof verbruikt dan wanneer men het gewicht op de heupen plaatste. Men kon dus aantonen dat zowel frequentie, amplitude en extra gewichten het metabole vermogen van het menselijk lichaam beïnvloeden en onder controle kunnen houden. Eerder hadden Rittweger et al. (2001) al aangetoond dat een stijgend metabool vermogen geassocieerd wordt met vibratietraining en de hiermee gepaard gaande spieractiviteit.

#### 2.1.7.2. Recuperatie

Cafarelli et al. (1990) trachtten in hun onderzoek na te gaan of de veronderstelling dat vibratietraining de negatieve effecten die na een gewone krachttraining vaak optreden, kan vermijden. Twaalf mannelijke subjecten herhaalden enkele contracties aan 70% van hun Maximale Voluntaire Contractie (MVC) alvorens een recuperatiebehandeling te krijgen. Deze recuperatie werd ingedeeld in drie groepen, namelijk de statische (elektronenstimulatie) recuperatie, de dynamische vibratie, en een controlegroep die enkel moest rusten. De resultaten tonen aan dat er geen verschil is tussen de dynamische en statische recuperatie.

#### 2.1.7.3. Hartslag

Rittweger et al. (2000) gingen na wat fysiologische effecten zijn van vermoeidheid bij vibratietraining. Data van de vibratietraining werden vergeleken met data van de fietsergometer. De hartslag die werd geregistreerd in dit onderzoek was bij de vibratiegroep significant lager dan bij de fietsgroep (127,5 tov 171,4;  $P < 0,05$ ). De controlewaarden voor de aanvang van de oefeningen waren hoger bij de vibratiegroep dan bij de fietsgroep.

Kersch-Schindl et al. (2001) vonden gelijkaardige resultaten.

#### 2.1.7.4. Lactaat

Lactaatwaarden zijn in enkele onderzoeken omtrent vibratietraining onderzocht. De waarden gevonden in een onderzoek van Rittweger et al. (2000), laten zien dat de gemiddelde

lactaatwaarden significant lager zijn bij de vibratiegroep dan bij de groep die trainde op de fietsergometer. Toch hadden 20 van de 37 proefpersonen een hogere concentratie dan 3 Mm/L.

De aangehaalde onderzoeken bewijzen dat vibratietraining ook een invloed heeft op het metabole stelsel van de mens. In welke mate dit gebeurt en of de verschillende componenten elkaar beïnvloeden blijft nog steeds de grote vraag binnen deze onderzoeken.

Is het misschien mogelijk dat door het verminderde verbruik van O<sub>2</sub>, een lagere hartslag en lagere lactaatwaarden, er minder vermoeidheid van het lichaam optreedt. Als gevolg hiervan zou het misschien kunnen dat vibratie meer effect heeft op kracht en andere fysieke componenten van het menselijke lichaam.

#### 2.1.8. Osteoporose

De wet van Wolff (Frost, 2003) zegt dat het lichaam zich aanpast aan veranderingen die het lichaam ondervindt. Onderzoek naar mechanische belasting onder de vorm van vibratietraining bij ratten heeft aangetoond dat het bot versterkt. Oxlund et al. (2003) onderzochten wat de invloed van vibraties zijn op de krachttinwerking op tibia en femur bij ratten. De vibratiegroepen bleken tot 3 maal meer minerale vercalcificatie te hebben, zowel lateraal als mediaal. Men heeft een stijgende dwarse doorsnede geregistreerd waarvan het effect nog meer steeg met een toenemende frequentie. Ook werd er een grotere buigbelasting waargenomen.

Fliieger et al. (1998) en Tanaka et al. (2003) onderzochten op ongeveer dezelfde manier de invloed van vibraties op het bot en cellen van het bot. Telkens kwamen zij tot de conclusie dat mechanische trillingen een positieve invloed hebben op de aanmaak en het remodelleren van het bot. De afscheiding van het groeihormoon tijdens vibratietrainingen zou eveneens een invloed hebben op de aanmaak van bot.

In tegenstelling tot de zojuist vermelde studies, zijn er ook onderzoeken die een negatieve invloed vonden op de beenderen van dieren. Robling et al. (2001) onderzochten wat de gevolgen van een statische en dynamische belasting op de beenderen van ratten waren. Men kwam tot het besluit dat in groeiende dieren een statische belasting de groei van beenderen tegengaat. Een dynamische belasting zorgt ervoor dat het bot zich gaat aanpassen door een stijging van de osteogenese.

Na onderzoeken betreffende de botdensiteit bij dieren is men ook gelijkaardige onderzoeken gaan voeren bij mensen. Een onderzoek van Rockwell et al. (1990) bestond uit het opleggen van een belasting bij 10 pré-menopausale vrouwen. Gedurende negen maanden nam de spierkracht toe met  $57\% \pm 8\%$ . Ondanks deze goede stijging was er toch geen verbetering in de botdensiteit van de wervelzuil merkbaar.

Verschuieren et al. (2004) toonden echter aan dat er bij post-menopausale vrouwen wel een verbetering is in de heupbotdensiteit. Gedurende 24 weken trainden 25 vrouwen tussen de 58 en 74 jaar op een trilplaat met een frequentie van 35 tot 40 Hz. De resultaten toonden aan dat zowel de dynamische als isometrische spierkracht toenamen. Een significante stijging van de heupbotdensiteit werd eveneens waargenomen.

Hoewel de wet van Wolff aantoont dat het lichaam zich aanpast aan de belasting die het ondergaat, tonen deze onderzoeken aan dat men nog steeds geen uitsluitend positieve resultaten heeft verkregen. Sommige onderzoeken hebben positieve effecten, terwijl andere het tegendeel bewijzen. Meer longitudinaal onderzoek omtrent de effecten van vibratietraining op het menselijke lichaam is daarom gewenst.

### **3. BESLUIT**

Zoals uit deze literatuurstudie blijkt hebben wetenschappers in de gevoerde onderzoeken zowel positieve als negatieve resultaten verkregen. Delecluse et al. (2003) en Roelants et al. (2004) hebben in hun onderzoeken positieve trainingseffecten verkregen. De kracht van voornamelijk de beenspieren hebben zij door middel van vibratietraining kunnen laten toenemen. Daarentegen hebben de Ruiter et al. (2002, 2003) aangetoond dat trainen op de trilplaat geen effect heeft in sprongkracht en de kracht van de kniestrekkers, hetgeen doet vermoeden dat vibratietraining, net als bij de klassieke krachtraining, voldoende tijd nodig heeft om effecten te verkrijgen.

Andere resultaten zoals de bestrijding van cellulitis, de verbetering van herstel na een operatie (zowel op spier als huidweefsel), het verbeteren van de incontinentie, het verminderen van de constipatie, ... die de verschillende websites van de fabrikanten verkondigen zijn nog steeds niet wetenschappelijk aangetoond. Deze bevindingen zijn eerder te wijten aan de merchandising en de commercialisering van de vibratietoestellen.

Toch is er door sommige onderzoeken van onder andere (Bosco et al., 1999; Delecluse et al., 2003) reden om aan te nemen dat vibratietraining wel een effect heeft op het menselijke

lichaam, maar dat het afhankelijk is van de verschillende variabelen die de intensiteit van de training bepalen. Deze zijn onder meer de houding op het toestel, de duur, de amplitude, de frequentie, het toevoegen van extra gewichten en de rust.

Meer onderzoek omtrent de verschillende variabelen van vibratietraining als de effecten van vibratietraining is dan ook gewenst.

#### 4. REFERENTIELIJST

1. Bernardis J., Bouman L. *Fysiologie van de mens*. Bohn, Scheltema & Holkema, Utrecht/Antwerpen, 1983.
2. Bosco C., Cardinale M., Tsarpela O. (1999). Influence of vibration on mechanical power and electromyogram activity in human arm flexor muscles. *Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, **79(4)**, 306-311.
3. Bosco C., Cardinale M., Tsarpela O., Colli R., Tihanyi J. (1998). The influence on whole-body vibration and jumping performance. *Biology of Sport*, **15(3)**, 157-164.
4. Bosco C., Colli R., Introiini E., Cardinale M., Tsarpela O., Madella A., Tihanyi J., Viru A. (1999). Adaptive responses of human skeletal muscle to vibration exposure. (1999). *Clinical Physiology*, **19(2)**, 183-187.
5. Bosco C., Iacovelli M., Tsarpela O., Cardinale M., Bonifazi M., Tihanyi J., Viru M., De Lorenzo A., Viru A. (2000). Hormonal responses to WBV in men. *European Journal of applied Physiology*, **81(6)**, 449- 454.
6. Burgerhout W., Mook., de Morree., J., Zijlstra W. (1995) *Fysiologie, leerboek voor parametrische opleidingen*. Wetenschappelijke uitgeverij Bunge.
7. Cafarelli E., Layton-Wood J. (1986). Effect of vibration on force sensation in fatigued muscle. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **18(5)**, 516-521.
8. Cafarelli E., Sim J., Carolan B., Liebesman J. (1990). Vibratory massage and short-term recovery from musculair fatigue. *International Journal of Sports Medicine*, **11**, 474-478.
9. Cardinale M., Bosco C. (2003). The use of vibration as an exercise intervention. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, **31**, 3-7.
10. Cederlund R., Nordenskiold U., Lundborg G. (2001). Hand-arm vibration exposure influences performance of daily activities. *Disability & Rehabilitation*, **23(13)**, 570-578.
11. Delecluse C., Roelants M., Verschueren S. (2003). Strength increase after WBV compared with resistance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **35(6)**, 1033-1041.

12. De Ruyter C., Van der Linden R., Van der Zijden M., Hollander A., De Haan A. (2003). Short-term effects of whole-body vibration on maximal voluntary isometric knee extensor force and rate of force rise. *European Journal of Applied Physiology*, **88**, 472-475.
13. De Ruyter C., Van Raak S., Schilperoort J., Hollanders A., De Haan A. (2003). The effects of 11 weeks whole body vibration training on jump height, contractile properties and activation of human knee extensors. *European Journal of Applied Physiology*, **90(5-6)**, 595-600.
14. 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. *Calcified Tissue International*, **63**, 510-514.
15. Frost H.M. (2004). A 2003 update of bone physiology and Wolff's Law for clinicians. *The Angle Orthodontist*, **74(1)**, 3-15
16. Hagberg M. (2002). Clinical assessment of musculoskeletal disorders in workers exposed to hand-arm vibration. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, **75(1-2)**, 97-105.
17. Issurin V.B., Liebermann D.G. Tenebaum G. (1994). Effect of vibratory stimulation on maximal force and flexibility. *Journal of Sports Sciences*, **12**, 561-566.
18. Issurin V.B., Tenebaum G. (1999). Acute and residual effects of vibratory stimulation and explosive strength in elite and amateur athletes. (1998). *Journal of Sports Sciences*, **17(3)**, 177-182.
19. Kerschan-Schindl K., Grampp S., Henk C., Resch H., Preisinger E., Fialka-Moser V., Imhof H. (2001). WBV leads to alternations in muscle blood volume. *Clinical Physiology*, **21(3)**, 377-382.
20. Müller E., Löberbauer E., Kruk M., (2003). Elektrostimulation und whole body vibration: zwei erfolgreiche krafttrainigsmethoden. *Leistungssport*, 4-10.
21. Oxlund B.S., Ortoft G., Andreassen T.T., Oxlund H. (2003). Low-intensity, high-frequency vibration appears to prevent the decrease in strength of the femur and tibia associated with ovariectomy of adult rats. *Bone*, **32(1)**, 69-77.
22. Rittweger J., Beller G., Felsenberg D. (2000). Acute physiological effects of exhaustive WBV exercise in man. *Clinical Physiology*, **20(2)**, 134-142.

23. Rittweger J., Ehrig J., Just K., Muschelknauss M., Kirsch K.A., Felsenberg D. (2002). Oxygen uptake in whole- body vibration exercise influence of vibration frequency, amplitude and external load. *International Journal of Sports Medicine*, **23(6)**, 428-432.
24. Rittweger J., Mutschelknauss M., Felsenberg. (2003). Acute changes in neuromuscular excitability after exhaustive WBV exercise as compared to exhaustion by squatting exercise. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, **23(6)**, 81-86.
25. Rittweger, J., Schiessl H., Felsenberg D. (2001). Oxygen uptake during whole - body vibration exercise: comparison as a slow voluntary movement. *European Journal of Applied Physiology*, **86(2)**, 169-173.
26. Robling A., Duijvelaar K., Geevers J., Ohashi N., Turner C. (2001). *Bone*, **2**, 105-113.
27. 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. *International Journal of Sports Medicine*, **25**, 1-5.
28. Tanaka S., Jiliang L., Duncan R., Hiroki Y., Burr D., Turner C. (2003). Effects of broad frequency vibration on cultured osteoblasts. *Journal of Biomechanics*, **36**, 73-80.
29. Torvinen S., Kannu P., Sievanen H., Jarvinen T.L., Jarvinen M., Oja P., Vuori I. (2002). Effect of a vibration exposure on muscular performance and balance. Randomized cross-over study. *Clinical Physiology & Functional Imaging*, **22(2)**, 145-152.
30. Torvinen S., Kannu P., Sievanen H., Jarvinen T.A.H., Pasanen M., Kontulainen S., Jarvinen T.L.N., Jarvinen M., Oja P., Vuori I. (2002). Effects of four- month vertical whole body vibration on performance and balance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **34(9)**, 1523-1528.
31. Torvinen S., Kannu P., Sievanen H., Jarvinen T.A.H., Pasanen M., Kontulainen S., Nenonen A., Jarvinen T.L.N., Jarvinen M., Paakkala T., Vuori I. (2003). Effect on 8-month WBV on bone, muscular performance and body balance: A randomized controlled study. *Journal of Bone and Mineral Research*, **18(5)**, 876-884.
32. Torvinen S., Sievänen H., Järvinen T., Pasanen M., Kontulainen S., Kannus P. (2002). Effect of 4-min Vertical Whole Body Vibration on Muscle Performance and Body Balance: A Randomized Cross-over Study. *International Journal of Sports Medicine*, **23**, 374-379.

33. Verschueren S., Roelants M., Delecluse C., Swinnen S., Vanderschueren D., Bonnen 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. *Journal of Bone and Mineral Research*, **19(3)**, 352-359.
34. Websites: [www.galileo2000.nl](http://www.galileo2000.nl)