

TİTREŞİMİN PERFORMANSA ETKİSİ

Ayşe KİN-İŞLER

Başkent Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Spor Bilimleri Bölümü

ÖZET

Son yıllarda, titreşim bir egzersiz ve antrenman yöntemi olarak oldukça popüler olmuş ve araştırmacıların ilgisini çekmiştir. Bu doğrultuda bu derlemenin amacı bir egzersiz ve antrenman yöntemi olarak titreşimin insan vücudunda oluşturduğu etkileri incelemektir. Derlemede, titreşim uygulamasına kas içiği ve motor ünitelerin verdiği yanıtlar, lokal ve tüm vücut titreşimi olarak uygulanan akut ve kronik titreşimin nöromusküler performans, esneklik, denge ve metabolik yanıtlara olan etkisi yapılan çalışmalar çerçevesinde incelenecektir.

Anahtar Sözcükler: *Titreşim, Lokal titreşim uygulaması, Tüm-vücut titreşimi, Performans*

EFFECTS OF VIBRATION ON PERFORMANCE

ABSTRACT

In recent years vibration has gained popularity as an exercise and training method and attracted the interest of many researchers. The purpose of this review was to investigate the effects of vibration as an exercise and training method on human body. For this purpose responses of muscle spindles and motor units to vibration, effects of acute and chronic application of local and whole-body vibration on neuromuscular performance, flexibility, balance and metabolic responses will be evaluated.

Key Words: *Vibration, Local vibration, Whole-body vibration, Performance*

GİRİŞ

Titreşim, bir cismin dinlenik konumu-na göre düzenli veya düzensiz olarak oluşturduğu periyodik hareketlerle meydana gelen mekanik salınımlar olarak tanımlanmaktadır (Cardinale ve Bosco, 2003; Griffin, 1996). İnsan vücudunda titreşim vücutla temas eden bir araç ya da mekanizmanın periyodik hareketleriyle oluşmaktadır (Kroamer ve Grandjean, 1997). Titreşim genliği ve frekansı olan salınımlı bir hareket yapmaktadır. Bir cismin pozitif ve negatif yöndeki en büyük yer değiştirmesi olarak tanımlanan titreşimin genliği salınıminin büyüklüğünü mili-

metre (mm) cinsinden belirlerken, birim zamanda tamamlanan titreşim sayısı olarak tanımlanan titreşim frekansı salınıminin tekrarlama hızını Hertz (Hz) cinsinden belirlemektedir (Cardinale ve Bosco, 2003; Grandjean, 1988; Griffin, 1996).

Akut veya kronik olarak yüksek frekansta ve şiddette titreşime maruz kalan bireylerde, özellikle işçilerde, bel ağrısı, epilepsi, serebrovasküler hastalıklar, kronik hemodinamik değişimler gibi sorunlar ortaya çıkabilmektedir (Bovenzi, Welsh, Della Vedova ve Griffin, 2006; Dupius ve Zerlett, 1987; Griffin, 1996; Martinho Pimenta ve Castelo Branco,

1999a ve b). Uzun süreli titreşimin neden olduğu bu tehlikeli etkilerin nedenleri insan vücudunun rezonans alanlarıyla ilişkilidir (Mester, Spitzenpfeil ve Yue, 2005). Doğada bulunan her madde rezonans olarak adlandırılan kendi doğal frekansında titreşmektedir (Griffin, 1996). Biyolojik dokular da doğadaki diğer maddelerden farklı değildir. Örneğin, iç organların ve omurganın 8 Hz, gözlerin 20 Hz ve kasların 7-15 Hz arasında bir rezonansa sahip oldukları belirtilmektedir (Mester ve ark., 2005). Rezonans frekansı vücut ağırlığı, kas sertliği ve vücut pozisyonu gibi faktörlerden etkilenmektedir ve titreşim çalışmalarında rezonansın dikkate alınması ve engellenmesi gerekmektedir (Griffin, 1996; Mester ve ark., 2005). Titreşimin neden olduğu zararlı etkiler ve sorunlar, bu etkileri engellemeye veya azaltmaya yönelik çalışmaların işyeri sağlığı ve güvenliği ile ergonomi gibi alanlarda çalışılmasına ve aynı zamanda güvenlik standartlarının oluşturulmasına neden olmuştur (Armstrong, Lawrence, Radwin ve Silverstein, 1987; Brammer 1986; Griffin, 1996).

Bu yaklaşımın yanında literatüre bakıldığında titreşimin bir tedavi ve rehabilitasyon yöntemi olarak tıp ve fizik tedavi alanlarında da kullanıldığı görülmektedir. Çalışmalar titreşimin kas ve kemik ağrısını azaltmada (Guineu, Tardy-Gervet, Blin ve Pouget, 1990; Lundeberg, Abrahamson, Bondesson ve Ahker, 1988; Lundeberg, Nordemar ve Ottoson, 1984), kuvvet hissinin artırmada (Cafarelli ve Kostka, 1981; Cafarelli ve Layton-Wood, 1986) ve kemik mineral kaybını azaltmada (Flieger, Karachalios, Khaldi, Raptou ve Lyritys, 1998) etkili olduğunu göstermiştir.

Bu derlemenin amacı, öncelikle insan vücudunun titreşim uygulamasına verdiği yanıtları incelemek ve daha sonra bir egzersiz ve antrenman yöntemi olarak titreşim uygulamasının sportif perfor-

mansa etkisini yazılı kaynaklardaki çalışmalar ışığında değerlendirmektir.

İnsan Vücudunun Titreşime Verdiği Yanıtlar

Titreşim kasa veya tendona uygulandığı zaman kasta refleks bir kasılma oluşur. Bu refleks kasılma tonik vibrasyon refleksi (TVR) olarak tanımlanmaktadır (Latash, 1998; Mester ve ark., 2005). Titreşim kasa veya tendona uygulandığı zaman TVR kademeli olarak artan istemsiz kasılmalar şeklinde ortaya çıkmaktadır. Titreşim uygulandıktan birkaç saniye sonra istemsiz kasılmalar başlamakta, kademeli olarak artmakta ve titreşim uygulaması sonlanana kadar kasılmalar hemen hemen sabit bir düzeyde devam etmektedir (Latash, 1998). Titreşim uygulaması sırasında oluşan bu motor tepki, kas içciklerindeki primer sonlanmaların (la uçları) titreşimle birlikte aktivasyonlarının artmasından kaynaklanmaktadır (Burke, Hagbarth, Löfstedt ve Wallin, 1976a ve b; Ribot-Ciscar, Rossi-Durand ve Roll, 1998). Bilindiği gibi kas içcikleri merkezi sinir sistemine kasın boyuyla ilgili bilgi vermektedir (Jones, Round ve de Haan, 2005; Powers ve Howley, 2005). İskelet kasında normal kas fibrillerine ya da ekstrasülfal fibrillere paralel bir şekilde uzanan kas içcikleri, intrasülfal fibriller olarak adlandırılan birkaç ince kas hücresinden oluşmaktadır. Kas içcikleri primer ve sekonder olmak üzere iki tür sinir sonlanmasına sahiptir. Kas uzunluğundaki dinamik değişimlere primer sonlanmalar yanıt verirken, sekonder sonlanmalar statik kas uzunluğuyla ilgili bilgiyi sürekli bir şekilde merkezi sinir sistemine iletmektedir. Ayrıca, kas içcikleri gamma motor sinirler tarafından innerve edilmektedir ve gamma motor sinirler uyarıldığında kas içciklerindeki intrasülfal fibrillerinin kasılmasını sağlamaktadır. Kas içcikleri gerildiği zaman, duyuşsal bilgi omuriliğe ulaşarak kası uyaran alfa-mo-

tor sinirlerin aktivasyonunun artmasına neden olmakta ve kasta gerim refleksi olarak adlandırılan refleks bir kasılma oluşmaktadır (Jones, Round ve de Haan, 2005). Titreşim uygulamasıyla birlikte kas içciklerindeki primer sonlanmaların aktivasyonu artmaktadır. Artan primer sonlanma aktivasyonunun kasta TVR'yi (Martin ve Park, 1997) ya da tekrarlı gerim refleksini oluşturduğu ve bunların sonucunda kastaki kasılmaların arttığı belirtilmiştir (Cardinale ve Bosco, 2003). İnsan vücudunun titreşime verdiği yanıtlar titreşim- kas içciği ve titreşim-motor ünite ilişkisi alt başlıklarında incelenecektir.

Titreşim-Kas İçciği İlişkisi: Kasa veya tendona uygulanan titreşimin kas içciklerinin aktivasyonuna olan etkisi uzun yıllardır araştırmacıların ilgisini çekmiştir ve çalışmalar kas içciği aktivitesinin titreşim uygulamasıyla birlikte arttığını göstermiştir. Örneğin, Burke ve ark. (1976a ve b) hem kasılmayan hem de izometrik olarak kasılan tibialis anterior, peroneus longus ve brevis, ekstansör digitorum longus ve gastroknemius kaslarına 20-220 Hz frekans aralığında ve 1,5 mm genlikte uygulanan lokal titreşimin kas içciği aktivitesini artırdığını belirlemiştir. Her iki çalışmada da, artan titreşim frekansı ile birlikte kas içciği sonlanmalarının tepkisinin ve boşalım hızlarının da arttığı belirlenmiştir. Ayrıca, primer sonlanmaların sekonder sonlanmalara göre daha yüksek boşalım hızına sahip oldukları da belirlenmiştir. Benzer şekilde Ribot-Ciscar ve arkadaşları (1998), ekstansör digitorum longus ve lateral peroneal kaslarının distal tendonlarına 30 saniye süreyle uygulanan titreşimin (80 Hz, 0,5 mm) tüm kas içciği primer sonlanmalarının boşalım hızlarında bir artışa neden olduğunu tespit etmişlerdir.

Titreşim-Motor Ünite İlişkisi: Titreşim uygulamasıyla birlikte oluşan TVR ve

artan kas içciği aktivasyonunun, motor ünitelerin ateşleme ve boşalım hızlarında da bir artışa neden olduğu yapılan çalışmalarla ortaya konmuştur (Bongiovanni ve Hagbarth, 1990a; Griffin, Garland, Ivanova ve Gossen, 2001). Sabit frekans (150 Hz) ve genlikte (1,5 mm) triseps kasına uygulanan lokal tendon titreşiminin yorgunluğa ulaşmış kaslarda TVR ile birlikte, EMG aktivitesinde ve motor ünite ateşleme hızında bir artışa neden olduğu belirlenmiştir (Bongiovanni ve Hagbarth, 1990a). Benzer şekilde Griffin ve arkadaşları (2001) maksimal istemli kasılmanın %20'sinde yapılan kasılmalar sonucunda ortaya çıkan kas yorgunluğu sırasında periyodik olarak uygulanan (2 sn titreşim 10 sn ara) titreşimin motor ünite boşalım hızını artırdığını tespit etmişlerdir.

Titreşim Egzersizi/Antrenmanı

Son yıllarda titreşim spor ve egzersiz bilimleri alanında özel bir egzersiz ve antrenman yöntemi olarak da kullanılmaya başlanmış ve araştırmacıların oldukça ilgisini çekmiştir. Titreşimin bir egzersiz ve antrenman yöntemi olarak kullanıldığı ilk çalışmada kuvvet antrenmanı ile birleşmiş titreşim uygulaması sonrası kuvvette anlamlı artışlar elde edilmiştir (Nazarov ve Spivak, 1987, akt: Mester ve ark., 2005). Bu çalışmadan yola çıkılarak, titreşimin bir performans geliştirme yöntemi olarak kullanılması titreşim stimülasyonu (Issurin, Liebermann ve Tennenbaum, 1994), titreşim egzersizi veya titreşim antrenmanı (Cardinale ve Wakeling, 2005; Jordan, Norris, Smith ve Herzog, 2005; Rehn, Lidström, Skoglund ve Lindström, 2007) olarak adlandırılmıştır. Özellikle 2000'li yıllarla birlikte titreşimin bir egzersiz/antrenman yöntemi olarak kullanıldığı çalışmaların popülerlik kazanmasıyla birlikte, herkesin ulaşabileceği titreşim uygulayabilen ticari sistemler de ortaya çıkmıştır.

Titreşim bir egzersiz ve antrenman

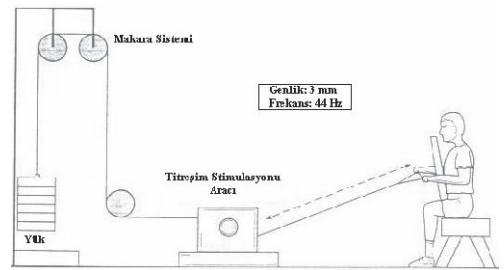
yöntemi olarak iki farklı yöntemle uygulanmaktadır. Bunlardan ilk olarak ortaya çıkan ve lokal titreşim uygulaması olarak adlandırılan birinci yöntemde titreşim doğrudan çalışacak olan kasın en geniş kısmına (Kin-İşler, 2003; Kouzaki, Shinohara ve Fukunaga, 2001; Warman, Humphries ve Purton, 2002) (Şekil 1) veya tendona (Luo, McNamara ve Moran, 2005b; Moran, McNamara ve Luo, 2007) uygulanabildiği gibi aynı zamanda elde tutulan bir titreşim kaynağıyla da (Bosco, Cardinale ve Tsarpela, 1999b; Issurin ve ark., 1994; Issurin ve Tennenbaum, 1999) (Şekil 2) uygulanabilmektedir. Tüm vücut titreşimi (TVT) olarak adlandırılan ikinci yöntemde ise, titreşim hedef kasta uzakta olan bir titreşim kaynağı tarafından (Bosco ve ark., 1998; Rittweger, Schiessl ve Felsenberg, 2001; Roelants, Delecluse ve Verschueren, 2004, de Ruitter, Linden, Zijden, Hollander ve de Haan, 2003) uygulanmaktadır (Şekil 3). Şekil 3'de TVT yöntemi kullanılarak bir titreşim platformu aracılığı ile quadriseps kaslarına titreşim uygulaması görülmektedir.

Uygulanan titreşim egzersizli veya antrenmanının etkisi titreşimin özelliklerine bağlıdır (Luo, McNamara ve Moran,

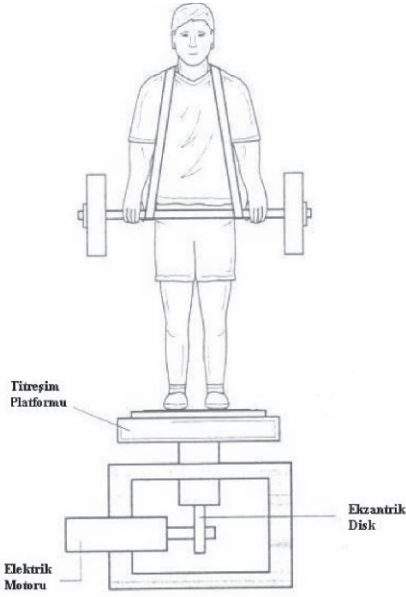
2005a). Titreşim özellikleri titreşimin yukarıda bahsedilen uygulanma yöntemlerini ve şiddetini içermektedir. Titreşimin şiddetini belirleyen en önemli iki etken frekans ve genliktir (Griffin, 1996; Mester, Kleinöder ve Yue, 2006). Bilindiği üzere insan vücudunda yumuşak dokular, kaslar, kemikler ve eklemler bir noktaya kadar titreşim sonucu oluşan mekanik enerjiye dayanma ve oluşan bu enerjiyi söndürme ve absorbe etme özelliğine sahiptir (Carlsöö, 1982; Mester ve ark., 2005 ve 2006). Bu noktadan hareketle, TVT uygulaması sırasında titreşim kaynağı hedef kasta uzakta olduğu için uygulanan titreşimin frekans ve genliğinin bir kısmının yumuşak dokular, kaslar, kemikler ve eklemler tarafından absorbe edildiği ve hedef kasa ulaşip bir titreşim etkisine neden olan titreşim şiddetinin net olarak belirlenemediği ortaya çıkmaktadır. Oysa, lokal titreşim uygulamasında titreşim doğrudan kasa veya tendonuna uygulandığı için elde edilen titreşim etkisinin uygulanan titreşimin şiddetinden kaynaklandığı daha kesin olarak söylenebilmektedir. Derlemenin bundan sonraki bölümlerinde titreşim egzersizli/antrenmanının performans üzerine etkileri incelenecektir.



Şekil 1. Lokal Titreşim Uygulaması: Titreşim kasın en geniş kısmına uygulanmaktadır (Kin-İşler, 2003).



Şekil 2. Lokal Titreşim Uygulaması: Titreşim elde tutulan bir titreşim kaynağıyla uygulanmaktadır (Issurin ve ark. 1994).



Şekil 3. Tüm vücut titreşimi uygulaması: Titreşim hedef kastan uzakta olan bir titreşim kaynağı tarafından uygulanmaktadır (Mester ve ark., 2005).

Titreşim Egzersizi/Antrenmanının Nöromusküler Performansa Etkisi: Bu bölümde akut ve kronik titreşim uygulamasının nöromusküler performansa etkisi incelenecektir. Lokal ve TVT uygulamasının nöromusküler performansa akut ve kronik etkileriyle ilgili ulaşılabilen çalışmalar Tablo 1'de verilmiştir (Tablo 1).

Lokal titreşim uygulamasının akut etkilerinin incelendiği çalışmalara bakıldığında (Tablo 1) genellikle titreşim uygulamasının maksimal istemli kas kasılması (MVC), MVC oluşturma hızı, dinamik kuvvet, güç ve EMG aktivitesine olan etkilerinin incelendiği görülmektedir. Bu bölümde ilk olarak lokal titreşim uygulamasının MVC ve MVC oluşturma hızı üzerine olan akut etkisini inceleyen çalışmalar ele alınacaktır. Lokal titreşim uygulamasının MVC ve MVC oluşturma hızına olan akut

etkisini inceleyen çalışmalarda farklı sonuçlar elde edilmiştir (Tablo 1). Örneğin Kin-İşler, Açıkada ve Arıtan (2006) on saniye süresince 6, 12 ve 24 Hz ve 4 mm genlikte uygulanan titreşimin, maksimal istemli izometrik kol kuvvetinde artışa, 48 Hz ve 4 mm genlikte uygulanan titreşimin ise azalmaya neden olduğunu belirlemişlerdir. Benzer şekilde, Gabriel, Basford ve Kai-Nan (2002) aralıklı olarak toplam 60 saniye süren lokal titreşim uygulamasının (1 mm, 60 Hz) dirsek ekstansiyon kuvvetinde %10'luk bir artışa neden olduğunu belirlemişlerdir. Bu çalışmaların aksine, Warman, Humphries ve Purton (2002) 30 saniye süreyle uygulanan lokal titreşimin (5 mm, 50 Hz) konsantrik izotonik kuvveti artırdığını, izometrik ve izokinetik kuvvetlerde ise bir değişime neden olmadığını belirlerken, Humphries, Warman, Purton, Doyle ve Dugan (2004) 5 saniyelik lokal titreşim uygulamasının (5 mm, 50 Hz) maksimal izometrik diz kuvvetinde bir değişime neden olmadığını tespit etmişlerdir.

Akut titreşim uygulamasının yorgunluk koşulunda incelendiği bir çalışmada Samuelson, Jordfeldt ve Ahlberg (1989) tükenene kadar yapılan maksimal izometrik diz ekstansiyonu sırasında uygulanan titreşimin (1,8 mm; 20 Hz) izometrik diz ekstansiyonu dayanıklılığında %30'luk bir azalmaya neden olduğunu belirlemişlerdir. Benzer şekilde, Kouzaki ve arkadaşları (2000) 30 dakikalık lokal titreşim uygulaması (2-3 mm; 30 Hz) sonrasında maksimal izometrik diz kuvveti, kuvvet oluşturma hızında ve EMG aktivitesinde düşüş olduğunu belirlemişlerdir. İki farklı titreşim frekansının uygulandığı çalışmalarında ise Jackson ve Turner (2003) yine 30 dakikalık lokal titreşim uygulamasının (1,5 - 2,0 mm; 30 ve 120 Hz) ipsilateral ve kontralateral kasta maksimal istemli kasılma ve maksimal kuvvet oluşturma hızında azalma tespit ederken, EMG aktivitesinde

Titreşim ve Performans

Tablo 1. Titreşimin nöromusküler performansa etkisini inceleyen çalışmalar.

Çalışma	Amaç	Denek	Titreşim Yönetimi	Titreşimin Şiddeti A (mm)	f (hz)	Titreşim Uygulaması	Sonuç
Samuelson ve ark., (1989)	Titreşimin maksimal izometrik kasılma dayanıklılığına etkisi	14 E	Lokal Akut	1,8	20	Maksimal İzometrik Diz Ekstansiyonu (Tükenene kadar) sırasında titreşim uygulaması	İzometrik diz ekstansiyonu dayanıklılığı %30
Issurin ve ark., (1994)	Titreşim antrenmanının kuvvete etkisi	28 E	Lokal Kronik	3	44	3 hafta boyunca titreşimli ve titreşimsiz: 3 tekrar × 6 set beş pull	Maksimal izotonik kuvvet % 49.8
Issurin ve Tennebaum (1999)	Titreşim stimülasyonunun patlayıcı kuvvete akut ve rezidüel etkisi	28 E Sporcu İki grup	Lokal Akut	3	44	3 tekrar × 3 set biceps curl sırasında titreşim uygulaması	Hem elit ve hem de amatör sporcularda patlayıcı güç ve ortalama güç
Bosco ve ark., (1998)	TVT uygulamasının sıçrama performansına etkisi	7 deney 7 kont. (E)	TVT Kronik	10	26	Tek bacakta: 10 × 60 s titreşim, 60 s ara 10 gün Diğer bacak kontrol	70,90,110 ve 130kg yükteki bacak presinde Ortalama kuvvet Ortalama hız Ortalama güç
Bosco ve ark., (1999a)	Kol fleksör kaslarında titreşimin mekanik güç ve EMG aktivitesine etkisi	12 E	Lokal Akut	6	30	Maksimal izometrik kol fleksiyonu sırasında: 5 × 60 s titreşim, 60 s ara	Ortalama güç % 13 iEMG
Bosco ve ark., (1999b)	İskelet kasının TVT uygulamasına verdiği yanıtlar	6 K	TVT Kronik	10	26	Her iki bacakta: 5 × 120 dk titreşim, 40 s ara 10 gün	Aktif sıçramada deney grubunda Güç çıkışında %6.1 Sıçrama yüksekliği % 12 Sürekli sıçramada deney grubunda Sıçrama yüksekliği % 12
Kouzaki ve ark., (2000)	Uzun süreli titreşimin maksima istemi kasılma ve maksimal kuvvet oluşturma hızına etkisi	7 E 1 K	Lokal Akut	2-3	30	Baskın bacakta rektus femoris kasına 30 dk titreşim uygulaması	MVC iEMG
Gabriel ve ark., (2002)	Yorgun kasta tendon titreşiminin izometrik kuvvet ve EMG aktivitesine etkisi	13 K	Lokal Akut	1	60	30 ×2s titreşim uygulaması 6 s ara	Dirsek ekstansiyon kuvvetinde %10 Triseps ve biceps EMG genişliğinde
Torvinen ve ark., (2002a)	Titreşim uygulamasının kasal performansa etkisi	8 K 8 E	TVT Akut	4	15-30	Platform üzerinde 4 dk titreşim uygulaması, Uygulamadan önce, 2 ve 60 dk sonra testler	Sıçrama yüksekliğine % 2.5 İzometrik ekstansiyon kuvvetinde % 3.2 EMG
Torvinen ve ark., (2002b)	Dört aylık titreşim antrenmanının performansa etkisi	21 K 35 E	TVT Kronik	2	25 30 35 40	4 ay süresince haftada 3-5 kez Platform üzerinde 2-3 dk sürekli titreşim uygulaması	Sıçrama yüksekliği % 8.5 İzometrik diz ekstansiyonu (2. ay) İzometrik diz ekstansiyonu (4. ay) Kavrama kuvveti
Warman ve ark., (2002)	İzometrik, izokinetik ve konsantrik izotonik kasılma sırasında uygulanan titreşimin uygulama zamanlamasının ya da yönteminin kuvvete etkisi	1 K 19 E	Lokal Akut	52	50	Maksimal izometrik, izokinetik (60° s-1) ve konsantrik izotonik kasılma Öncesinde 30 s titreşim Sırasında titreşim 30 s titreşim sonrası 3-dk ara ve kasılma	Konsantrik izotonik kuvvette her 3 koşulda İzometrik ve izokinetik kuvvet
Jackson ve Turner (2003)	İpsilateral ve kontralateral kasta uzun süreli titreşimin maksimal istemli kasılma ve maksimal kuvvet oluşturma hızına etkisi	10 E	Lokal Akut	1,5-2,0	31 120	Sağ rektus femoris kasına 30 dk titreşim	Her iki titreşim uygulamasında ipsilateral ve kontralateral bacakta MVC'de EMG
Rittweger ve ark., (2003)	Titreşimin ağır skuat egzersiziyle birlikte nöronusküler performansa etkisi	10 K 9 E	TVT Akut	6	26	Titreşimli ve titreşimsiz Skuat egzersizi (tükenene kadar)	İzometrik kuvvet Sıçrama yüksekliği
Russo ve ark., (2003)	Yüksek frekanslı titreşim antrenmanının kas kuvveti ve gücüne etkisi	29 K (15 deney 14 kontrol)	TVT Kronik	-	28	6 ay süresince haftada 2 kez Platform üzerinde 2 dk × 3 set titreşim uygulaması, 1 dk ara	Patlayıcı güç % 5 Kuvvet
de Ruyter ve ark., (2003)	Kısa süreli titreşim antrenmanının maksimal kuvvet ve kuvvet oluşturma hızına etkisi	12 E	TVT Kronik	8	30	1 dk × 5 set titreşim uygulaması, 2 dk ara	Diz ekstansiyon MVC Diz ekstansiyon MVC oluşturma hızı
Delecluse ve ark., (2003)	12 haftalık titreşim antrenmanının kuvvete etkisi	30 K (18 deney 12 kontrol)	TVT Kronik	2,5-5,0	35-40	12 hafta süresince haftada 3 kez Titreşim platformu üzerinde statik ve dinamik diz-ekstansör egzersizleri	İzometrik MVC İzokinetik kuvvet Sıçrama yüksekliği
Humphries ve ark., (2004)	Titreşimin izometrik kasılmalar sırasında kas aktivasyonu ve kuvvet oluşturma hızına etkisi	16 kişi	Lokal Akut	5	50	Baskın bacakta: 5 s izometrik diz ekstansiyonu (%100 MVC) sırasında titreşim uygulaması	%100 MVC MVC oluşturma hızı
Roelants ve ark., (2004)	24 haftalık titreşim antrenmanının diz ekstansiyon kuvveti ve hareket hızına etkisi	89 K 3 grup	TVT Kronik	2,5-5,0	35-40	24 hafta süresince haftada 3 gün Titreşim platformu üzerinde statik ve dinamik diz-ekstansör egzersizleri	İzometrik MVC İzokinetik kuvvet Sıçrama yüksekliği

Tablo 1. Titreşimin nöromusküler performansa etkisini inceleyen çalışmalar (devamı).

Çalışma	Amaç	Denek	Titreşim Yönetimi	Titreşimin Şiddeti A (mm)	Titreşimin Şiddeti f (hz)	Titreşim Uygulaması	Sonuç
Kin-İşler ve ark., (2006)	Farklı frekansta ve dirsek açısında uygulanan titreşimin maksimal izometrik kas kasılmasına etkisi	40 E 4 grup	Lokal Akut	4	6 12 24 48	Baskın kolda 90°, 120° ve 150° dirsek açıklarında: 10 s titreşim sonrası 3 MVC	6, 12 ve 24 Hz de MVC 48 Hz de MVC de Dirsek açısı etkisi yok
Erskine ve ark., (2007)	Titreşim uygulamasına nöromusküler cevaplar	7 E	TVT Akut	4	30	1 dk × 10 set yarım skuat sırasında	Uygulamadan hemen sonra MVC Uygulamadan 1 saat sonra MVC Uygulamadan 2 saat sonra MVC
Moran ve ark., (2007)	Akut titreşim antrenmanının maksimal dinamik kuvvete etkisi	14 E	Lokal Akut	1,2	65	10 × 3 set biceps curl (% 70 1 RM)	Kuvvet Açısal hız Ortalama güç EMG

bir değişim belirlemedişlerdir. Lokal titreşimin akut etkisini inceleyen çalışmalara bakıldığında titreşimin farklı frekans ve genlik aralığında ve farklı sürelerde uygulandığı görülmektedir (5, 10, 30 ve 60s, tükenene kadar ve 30 dk). Bu doğrultuda lokal titreşim uygulamasının akut etkileri incelendiğinde titreşimin uygulanma süresinin de önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. Nitekim, 5 saniye gibi kısa süreli titreşim uygulamasında maksimal izometrik kuvvette bir değişim elde edilmezken, (Humphries ve ark., 2004), 10, 30 ve 60 saniyelik uygulamalarda kuvvette artışlar belirlenmiştir (Gabriel ve ark., 2002; Kin-İşler ve ark., 2006; Warman ve ark., 2002). Lataş (1998) titreşim uygulaması sırasında kassal aktivitede bir artış elde edilebilmesi için en az 3-5 saniye sürenin geçmesi gerektiğini belirtmiştir. Ancak, yukarıdaki çalışmalara bakıldığında lokal titreşim uygulamalarında akut bir etki elde edebilmek için titreşimin en az 10 saniye süreyle uygulanması gerektiği görülmektedir. Titreşimin yorgunluk koşulunda (Samuelson ve ark., 1989) ve 30 dakika gibi uzun süreli uygulamasında (Kouzaki ve ark., 2000; Jackson ve Turner, 2003) ise nöromusküler performansında bir düşüşe neden olduğu görülmektedir. Bongiovanni, Hagbarth ve Stjernberg (1990b) uzun süreli titreşim uygulamasıyla motor ünitelerin a-teşlemesinde bir azalma oluştuğunu ve böylelikle yorgunluk koşulunda veya uzun

süreli titreşim uygulamasında motor ünitelerin inhibe olarak kasılma kuvvetinde bir azalmaya neden olduğunu belirtmiştir. Bu doğrultuda, lokal titreşim uygulamasının akut etkilerini inceleyen çalışmalarda farklı sürelerdeki titreşim uygulamasının etkilerinin de incelenmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Tablo 1'e bakıldığında lokal titreşim uygulamasının dinamik kuvvet ve kassal güce olan akut etkisini inceleyen üç çalışma bulunduğu görülmektedir. Bu çalışmalardan Issurin ve Tennenbaum'un (1999) çalışmasında titreşimin (3mm, 44 Hz) patlayıcı kuvvete akut ve rezidüel etkisi incelenmiş ve 3 tekrarlı 3 set boyunca uygulanan titreşimin hem elit hem de amatör sporcularda patlayıcı güç (elit %10,4; amatör %7,9) ve ortalama güçte (elit %10,2; amatör %10,7) anlamlı artışlara neden olduğu belirlenmiştir. Bosco ve arkadaşları (1999b) ise 60 saniye süresince 5 kez uygulanan lokal titreşimin (6 mm, 30 Hz) ortalama güçte %13'lük bir artışa iEMG aktivitesinde ise bir düşüşe neden olduğunu belirlemişlerdir. Son olarak, Moran ve arkadaşları (2007) %70 RM'de 10 tekrarlı 3 set biceps curl hareketi sırasında uygulanan lokal titreşimin (1,2 mm; 65 Hz) maksimal kuvvet, açısal hız, ortalama güç ve EMG aktivitesinde bir değişime neden olmadığını belirlemişlerdir. Bu üç çalışmada farklı sonuçlar elde edilmesinin nedeni de titreşim frekans, genlik ve uygulama

sürelerinin farklılığından kaynaklanmış olabilir.

Literatürde lokal titreşim uygulamasının kronik etkilerini inceleyen sadece bir çalışmaya ulaşılmıştır. Issurin ve arkadaşları (1994) tarafından yapılan bu çalışmada 3 haftalık lokal titreşim antrenmanının (3mm, 44Hz) maksimal kuvvete etkisi incelenmiştir. Çalışmada denekler 3 gruba ayrılmışlardır: birinci grup haftada 3 kez titreşim uygulamasıyla birlikte 3 tekrarlı 3 set beç pull antrenmanına katılırken, ikinci grup aynı antrenmana titreşim uygulaması olmadan katılmış, kontrol grubu ise hiçbir aktiviteye katılmamıştır. Üç haftalık antrenman sonrasında titreşimsiz kuvvet antrenmanına katılan deneklerin maksimal izotonik kuvvetinde %16'lık bir artış belirlenirken, titreşimli antrenman grubunda bu artış %49,8 olarak belirlenmiştir. Bu doğrultuda, lokal titreşim antrenmanının izotonik kuvvetin geliştirilmesinde normal kuvvet antrenmanına göre daha etkili olduğu görülmektedir.

TVT'nin nöromüsküler performansa akut etkisini inceleyen çalışmalar incelendiğinde farklı sonuçlar elde edildiği görülmektedir. Torvinen ve arkadaşları (2002a) 4 dakikalık TVT (4 mm, 15-30 Hz) uygulamasının sıçrama yüksekliği ve izometrik ekstansiyon kuvvetinde artışa neden olduğunu belirlerken, Rittweger, Mutschelknauss ve Felsenberg (2003) tükenene kadar yapılan yarım skuat hareketi sırasında uygulanan TVT'nin (6 mm, 26 Hz) sıçrama yüksekliği ve izometrik diz kuvvetinde bir değişime neden olmadığını belirlemiştir. Bu çalışmaların aksine, Erksine, Smillie, Leiper, Ball ve Cardinale (2007) yarım skuat egzersizi sırasında bir dakikalık on tekrarlı TVT uygulanmasının (4 mm, 30 Hz) maksimal izometrik kuvvette azalmaya neden olduğunu belirlemiştir.

TVT'nin kronik etkilerini inceleyen çalışmalar incelendiğinde bir antrenman

yöntemi olarak TVT'nin en az 10 gün (Bosco ve ark., 1998 ve 1999a), en fazla ise 6 ay süresince (Russo ve ark., 2003; Roelants ve ark., 2004) uygulandığı görülmektedir. TVT'nin 10 gün gibi kısa bir sürede uygulanmasının ortalama güç, güç çıkışı ve sıçrama yüksekliğini artırdığı belirlenirken (Bosco ve ark., 1998 ve 1999a), 6 ay süresince haftada 3-5 gün uygulanmasının patlayıcı güç (Russo ve ark., 2003), izometrik ve izokinetik kuvvet ile sıçrama yüksekliğinde (Roelants ve ark., 2004) anlamlı artışlara neden olduğu tespit edilmiştir. TVT'nin kronik uygulamasıyla kas sinir sisteminde bir gelişim elde edemeyen tek çalışmada ise, 2 haftalık TVT antrenmanının (8 mm, 30 Hz) diz ekstansiyon kuvveti ile kuvvet oluşturma hızında bir değişime neden olmadığı belirlenmiştir (de Ruiter ve ark., 2003). Bu çalışmada bir etki elde edilmemesinin nedeninin titreşiminin uygulanma süresi olduğu düşünülmektedir. De Ruiter ve arkadaşlarının (2004) çalışmasında TVT toplam 6 seansta uygulanmıştır. Bu sürenin TVT'nin kas-sinir sisteminde bir adaptasyon oluşturmaya ve nöromüsküler performansta bir gelişime neden olması için yeterli olmadığı sanılmaktadır.

Titreşim Egzersizi/Antrenmanının Esneklik ve Denge Üzerine Etkisi:

Titreşimin esneklik ve denge üzerine etkisini inceleyen çalışmalar Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2'den de görüldüğü üzere bu çalışmaların yalnızca bir tanesinde titreşim lokal olarak uygulanmış, diğer çalışmalarda TVT yöntemi kullanılmıştır.

Titreşim uygulamasının esneklik üzerine etkisini inceleyen çalışmalar incelendiğinde gerek akut (Cronin, Nash ve Whatman, 2007) ve gerekse kronik (Issurin ve ark., 1994) olarak uygulanan titreşimin esneklikte önemli gelişmelere neden olduğu görülmektedir. Farklı frekanslarda (24, 34, 44 ve 47 Hz) ve sabit gen-

likte (3-5mm) uygulanan akut TVT'nin hareket genişliğine etkisinin incelendiği çalışmada 34, 44 ve 47 Hz'de sağ bacakta anlamlı gelişimler gözlemlenirken, 24 Hz uygulamasında bir gelişim belirlenmemiştir (Cronin ve ark., 2006). Bunun yanında 3 hafta süresince haftada 3 gün 2-4 tekrar ve 6-7 saniye lokal titreşimle (3mm, 44 Hz) ve titreşimsiz olarak uygulanan germe egzersizlerinin, bacak esnekliğini titreşimsiz uygulamayla %2,4, titreşimli uygulamayla ise %8,9 oranında arttığı belirlenmiştir (Issurin ve ark., 1994). Akut ve kronik titreşim uygulamasıyla esneklikte gözlemlenen gelişimin bir nedeni titreşim sonucu ağrı eşliğinin artması (Lundeberg ve ark., 1984 ve 1988) ve buna bağlı olarak germe hareketi sırasında ağrıdaki titreşime bağlı azalma olabilir. Böylece, denekler germe hareketleri sırasında kendilerini sınırlarına kadar zorlayıp hareket genişliği ve dolayısıyla da esnekliğin artmasına neden olmuşlardır. Ayrıca, titreşim uygulamasının damarlarda vazodilatasyona ve buna bağlı olarak kan dolaşımının ve kas ısısının artmasına (Bosco ve ark., 1999a; Kersch-Schindl ve ark., 2001) neden olması esneklikte elde edilen gelişimin nedenleri arasında verilebilir.

Literatürde titreşim uygulamasının denge üzerine etkilerini inceleyen iki çalışmaya ulaşılmıştır. Akut ve kronik TVT uygulamasının denge üzerine etkilerini inceleyen bu çalışmalarda farklı sonuçlar elde edilmiştir. Akut TVT uygulamasının denge üzerine olan etkisini inceledikleri çalışmalarında Torvinen ve arkadaşları (2002a) 4 mm genlik ve 15-30 Hz frekans aralığında 4 dakika boyunca uyguladıkları TVT ile dengede %15,7'lik bir gelişme belirlemişlerdir. Aynı araştırmacılar tarafından yapılan bir başka çalışmada ise, (2002b) 2 mm genlik ve 25-40 Hz frekans aralığında 4 ay boyunca haftada 3-5 kez uygulanan TVT'nin dengede herhangi bir değişime neden olmadığını belirlemişlerdir. Bu so-

nuçlar, TVT'nin akut olarak dengede olumlu gelişmelere neden olduğunu ancak uzun süreli uygulamasında bir etki elde edilmediğini göstermektedir. TVT'nin akut uygulamasında titreşiminin kaslardaki nörojenik etkisinin dengedeki olumlu gelişimin nedeni olduğu belirtilmiştir (Torvinen ve ark., 2002a). Ancak, kronik uygulamada bir gelişim elde edilememesi titreşim uygulamasının kas-sinir sisteminde denge gelişimi için bir uyuma neden olmadığını göstermektedir. Titreşimin denge üzerine etkisini inceleyen yeni çalışmalarla bu konuda daha kesin yargılara varılabileceği düşünülmektedir.

Titreşim Egzersizi/Antrenmanının Metabolik Yanıtlar Üzerine Etkisi: Titreşim uygulamasına verilen metabolik yanıtlar üzerine yapılan çalışmalar Tablo 3'te sunulmuştur.

Akut TVT uygulamasının hormonlar üzerine etkisini inceleyen çalışmaların bulguları farklılık göstermektedir. Bosco ve arkadaşları (2000), 10 set 60 saniyelik TVT uygulaması (4 mm, 26 Hz) sonucunda plazma testosteron ve büyüme hormonu (BH) değerlerinin yükseldiğini, kortizol değerlerinin ise düştüğünü belirlemişlerdir. Bu çalışmanın aksine Di Loreto ve arkadaşları (2004) ile Erksine ve arkadaşları (2007) yarım skuat egzersizi sırasında uygulanan 10 dakikalık TVT uygulaması (4 mm, 30 Hz) sonrasında plazma testosteron, insülin büyüme faktörü-1 (IGF-1) ve kortizol değerlerinde bir değişim belirlememişlerdir. Bu çalışmalara ek olarak, Cardinale ve arkadaşları (2006) farklı genlikte uygulanan TVT'nin (1,5 ve 3 mm, 30 Hz) testosteron ve IGF-1 hormonuna etkisini inceledikleri çalışmada 20 dakika boyunca uygulanan TVT'nin testosteron ve IGF-1 hormonlarında bir değişim elde edememişlerdir. Yukarıdaki çalışmaların bulgularından elde edilen çelişkili sonuçlar, farklı şiddet ve sürelerde

Tablo 2. Titreşimin esneklik ve denge üzerine etkisini inceleyen çalışmalar.

Çalışma	Amaç	Denek	Titreşim Yönetimi	Titreşimin Şiddeti A (mm)	f (Hz)	Titreşim Uygulaması	Sonuç
Issurin ve ark., (1994)	Titreşim antrenmanının kuvvet ve esneklik üzerine etkisi	28 E	Lokal Kronik	3	44	3 hafta boyunca titreşimli ve titreşimsiz: 6-7 s germe x 2-4 tekrar	Bacak esnekliği % 8.9
Torvinen ve ark., (2002)	Titreşim uygulamasının dengeye etkisi	8 K 8 E	TVT Akut	4	15-30	Platform üzerinde 4 dk titreşim uygulaması, Uygulamadan önce, 2 ve 60 dk sonra testler	Dengede %15-17
Torvinen ve ark., (2002)	Dört aylık titreşim antrenmanının dengeye etkisi	35 K 21 E	TVT Kronik	2	25 30 35 40	4 ay süresince haftada 3-5 kez Platform üzerinde 2-3 dk sürekli titreşim uygulaması	Dengede değişim yok
Cronin ve ark., (2006)	Dört farklı titreşim frekansının dinamik hareket genişliğine etkisi	35 K 21 E	TVT Akut	3-5	24 34 44 47	Isınma sonrası sağ bacakta 30 s titreşim öncesi ve sonrası ROM ölçümü	34, 44 ve 47 Hz de dinamik ROM'da

Tablo 3. Titreşimin metabolik yanıtlar üzerine etkisini inceleyen çalışmalar.

Çalışma	Amaç	Denek	Titreşim Yönetimi	Titreşimin Şiddeti A (mm)	f (Hz)	Titreşim Uygulaması	Sonuç
Bosco ve ark., (2000)	TVT uygulamasına akut hormonal cevapların belirlenmesi	14 E	TVT Akut	4	26	10 x 60 sn titreşim 10 set	Testosteron BH Kortizol
Kerschman-Schindl ve ark., (2001)	TVT uygulamasının kan dolaşımına etkisinin belirlenmesi	20 Yetişkin	TVT Akut	3	26	9 dk titreşim uygulaması	Baldır ve uyluk kas kan dolaşımını Popliteal arterin: Ortalama kan akış hızı Direnci endeksi KAH, SKB ve DKB
Rittweger ve ark., (2001)	TVT'in metabolik güce etkinin incelenmesi	8 K 4 E	TVT Akut	6	26	9 dk titreşim uygulaması farklı duruşlarda	VO _{2maks} 'ta
Rittweger ve ark., (2002)	Farklı frekans ve genlikte uygulanan TVT'nin metabolik güce etkisi	10 E 8 E 8 E	TVT Akut	2,5 5 7,5	18 26 34	3 farklı egzersizde 3dk titreşim uygulaması Farklı frekans Farklı genlik	26 Hz'de VO _{2maks} 18 ve 34 Hz'te VO _{2maks} Farklı genlikte VO _{2maks}
Di Loreto ve ark., (2004)	TVT uygulamasının endokrin sisteme etkisi	10 E	TVT Akut	4	30	1 dk x 10 set yarım skuat sırasında	Testosteron IGF-1 Kortizol
Cardinale ve ark., (2006)	TVT genişliğinin Testosteron ve IGF-1'e etkisinin belirlenmesi	9 E	TVT Akut	1,5 3	30	1 dk titreşim 20 set	Testosteron IGF-1
Erskine ve ark., (2007)	Akut titreşim uygulamasına hormonal cevaplar	7 E	TVT Akut	4	30	1 dk x 10 set yarım skuat sırasında	Testosteron Kortizol

uygulanacak akut ve kronik titreşim uygulamasının hormonal yanıtlar üzerine etkisini inceleyen çalışmalara ihtiyaç olduğunu ortaya koymaktadır.

Titreşimin oksijen tüketimi üzerine etkisini inceleyen çalışmalarda da farklı sonuçlar elde edilmiştir. Rittweger ve arkadaşları (2001) 9 dakikalık akut TVT uygulamasının (6 mm, 26 Hz) VO_{2maks}'ta anlamlı artışlara neden olduğunu bildirmişlerdir. Rittweger ve arkadaşları (2002) diğer bir çalışmalarında ise farklı frekans ve genlikte uygulanan 3 dakikalık TVT sonucunda 18 ve 24 Hz ile farklı genliklerde (2,5, 5 ve 7,5 mm) VO_{2maks}'ta anlamlı bir

artış belirlerken 26 Hz'de bir değişim belirlememişlerdir. Bu sonuçlar, titreşimin kassal aktivitede bir artışa neden olduğunun göstergesi olurken, kassal aktivitenin büyüklüğünün titreşimin şiddetiyle ilişkili olduğunu da göstermektedir.

Literatürde titreşim ve kan dolaşımındaki değişimleri inceleyen sadece bir çalışmaya rastlanmıştır (Kerschman-Schindl ve ark., 2001). Bu çalışmada (Kerschman-Schindl ve ark., 2001), 9 dakikalık akut TVT (3 mm, 26 Hz) uygulamasının kan akış hızını artırdığı, kan akış direncini azalttığı, kalp atım hızı ve kan basıncında ise bir değişime neden olmadığı belir-

lenmiştir. Bu sonuçlar, titreşimin periferik kan dolaşımını artırdığını göstermektedir.

SONUÇ

Son yıllarda titreşim oldukça popüler bir egzersiz ve antrenman yöntemi olarak kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle, lokal veya TVT olarak uygulanan titreşimin nöromüsküler performansta oluşturduğu olumlu gelişimler titreşimin kuvvet antrenmanı sırasında kullanımını artırmıştır. Bu derleme kapsamında ulaşılabilen çalışmalar değerlendirildiğinde akut veya kronik titreşim uygulamasının farklı sonuçlara neden olduğu anlaşılmaktadır. Farklı sonuçlar elde edilmesinin bir nedeni, optimal titreşim şiddeti ve titreşim uygulama süresinin henüz belirlenmemiş olmasıdır. Bu derlemede kullanılan çalışmalar incelendiğinde titreşimin 1-10 mm genlik ve 20-120 Hz frekans aralığında uygulandığı görülmektedir. Çalışmalar, titreşimin akut olarak 5 saniye ile 30 dakika arasında değişim gösteren sürelerde, kronik olarak ise 10 gün ile 6 ay arasında değişen sürelerde uygulandığını göstermektedir. Bu sonuçlar, titreşimin performansa etkisi konusunda performansta olumlu etkilere neden olacak optimal titreşim şiddeti ve uygulama süresini belirleyecek çalışmalara gereksinim duyulduğunu göstermektedir. Ayrıca, lokal titreşim uygulamalarında titreşimin kısa sürelerde uygulandığının gözlemlenmesi, daha uzun süreli lokal titreşim uygulamalarına gereksinim duyulduğunu da göstermektedir. Özellikle, titreşimin metabolik değişimlere etkisi ile ilgili çalışmalarda farklı sonuçlar elde edilmesi, hem lokal hem de TVT ile kronik uygulamalarda metabolik değişimlerin incelenmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Son olarak, sporcularla ilgili olarak akut titreşim çalışmalarının ağırlıkta olması, kronik titreşim uygulamasının sporcuların performansına etkisini inceleyen çalışmalara gereksinim olduğunu göstermektedir.

Yazışma Adresi (Corresponding Address)

Dr. Ayşe KİN-İŞLER
Başkent Üniversitesi
Spor Bilimleri Bölümü
Bağlıca Kampusu Eskişehir yolu 20. km
06810/ANKARA
e-posta: akisler@baskent.edu.tr

KAYNAKLAR

- Armstrong, T.J., Lawrence, J.F., Radwin R. G & Silverstein B.S. (1987). Ergonomics and the effects of vibration in hand-intensive work. **Scan J Work Environ Health**, 13, 186-289.
- Bongiovanni, L.G. & Hagbarth, K.E. (1990a). Tonic vibration reflexes elicited during fatigue from maximal voluntary contractions in man. **J Physiol**, 423, 1-14.
- Bongiovanni, L.G., Hagbarth, K.E. & Stjernberg, L. (1990b). Prolonged muscle vibration reducing motor output in maximal voluntary contractions in man. **J Physiol**, 423, 15-26.
- Bosco, C., Cardinale, M., Tsarpela, O., Colli, R., Tihanyi, J., von Duvillard S.P & Viru, A. (1998). The influence of whole body vibration on jumping performance. **Biol Sport**, 15, 157-164.
- Bosco, C., Colli, R., Introini, E., Cardinale, M., Tsarpela, O., Madella, A., Tihanyi, J. & Viru, A. (1999a). Adaptive responses of human skeletal muscle to vibration exposure. **Clin Physiol**, 19, 183-187.
- Bosco, C., Cardinale, M. & Tsarpela, O. (1999b). Influence of vibration on mechanical power and electromyogram activity in human arm flexor muscles. **Eur J Appl Physiol**, 79, 306-311.
- Bosco, C., Iacovelli, M., Tsarpela, O., Cardinale, M., Bonifazi, M., Tihanyi,

- J., Viru, M., De Lorenzo, A & Viru, A. (2000). Hormonal responses to whole-body vibration in men. **Eur J Appl Physiol**, 81, 449-454.
- Bovenzi, M., Welsh, A.J.L., Della Vedova, A & Griffin, M.L. (2006). Acute effects of force and vibration on finger flow. **Occup Environ Med**, 63, 84-91.
- Brammer, A.J. (1986). Dose-response relationships for hand-transmitted vibration. **Scan J Work Environ Health**, 12, 284-288.
- Burke, D., Hagbarth, K.E., Löfstedt, L. & Wallin, B.G. (1976a). The responses of human muscle spindle endings to vibration during isometric contraction. **J Physiol**, 261, 695-711.
- Burke, D., Hagbarth, K.E., Löfstedt, L. & Wallin, B.G. (1976b). The responses of human muscle spindle endings to vibration of non-contracting muscles. **J Physiol**, 261, 673-693.
- Cafarelli, E & Kostka, C.E. (1981). Effect of vibration on static force sensation in man. **Exp Neuro**, 74, 331-340.
- Cafarelli, E & Layton-Wood, J. (1986). Effect of vibration on force sensation in fatigued muscle. **Med Sci Sport Exerc**, 18(5), 516-521.
- Cardinale, M. & Bosco, C. (2003). The use of vibrations as an exercise intervention. **Exerc Sport Sci Rev**, 31(1), 3
- Cardinale, M. & Wakeling, J. (2005). Whole body vibration exercise: are vibrations good for you? **Br J Sports Med**, 39, 585-589.
- Cardinale, M., Leiper, J., Erskine, J., Milroy, M & Bell, S. (2006). The acute effects of whole body vibration amplitudes on the endocrine system of young healthy men: a preliminary study. **Clin Physiol Funct Im**, 26, 380-384.
- Carlsöö, S. (1982). The effect of vibration on the skeleton, joints and muscles. **Appl Ergo**. 13(4), 251-258.
- Cronin, J., Nash, M. & Whatman, C. (2007). The effect of four different vibratory stimuli on dynamic range of motion of the hamstrings. **Phys Ther Sport**, 8, 30-36.
- Delecluse, C., Roelants, M. & Vershueren, S. (2003). Strength increase after whole-body vibration compared with resistance training. **Med Sci Sport Exerc**, 35(6), 1033-1041.
- Di Loreto, C., Ranchelli, A., Lucidi, P., Murdolo, G., Parlanti, N., De Cicco, A., Tsarpela, O., Annino, G., Bosco, C., Santeusano, F., Bolli, G.B. & De Feo, P. (2004). Effects of whole-body vibration exercise on the endocrine system of healthy men. **J Endocrinol Invest**, 27, 323-327.
- Dupius, H & Zerlett, G. (1987) Whole-body vibration and disorders of the spine. **Int Arch Occup Environ Health**, 59, 323-336.
- Erskine, J., Smillie, I., Leiper, J., Ball, D & Cardinale, M. (2007). Neuromuscular and hormonal responses to a single session of whole body vibration exercise in healthy young men. **Clin Physiol & Funct Im**, 1-7.
- Flieger, J., Karachalios, T., 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.
- Gabriel, D.A., Basford, J.R & Kai-Nan, A. (2002). Vibratory facilitation of strength in fatigued muscle. **Arch Phys Med Rehabil**, 83, 1202-1205.
- Grandjean, E. (1988). **Fitting the Task to the Man: A Textbook of Occupational Ergonomics**. London: Taylor and Frangia Inc.
- Griffin, M.J (1996). **Handbook of Human Vibration**. London: Academic Press, Harcourt Brace & Company Publishers.

- Griffin, L., Garland, S.J., Ivanova, T & Gossen, E.R. (2001) Muscle vibration sustains motor unit firing rate during submaximal isometric fatigue in humans. **J Physiol**, 535(3), 929-936.
- Guineu, R., Tardy-Gervet, M.F., Blin, O & Pouget, J. (1990). Pain relief achieved by transcutaneous electrical nerve stimulation and/or vibratory stimulation in a case of painful legs and moving toes. **Pain**, 42, 43-48.
- Humphries, B., Warman, G., Purton, J., Doyle, T.L.A & Dugan, E. (2004). The influence of vibration on muscle activation and rate of force development during maximal isometric contractions, **J Sports Sci Med**, 3, 16-22.
- Issurin, V.B., Liebermann, D.G & Tennenbaum, G. (1994). Effect of vibratory stimulation training on maximal force and flexibility. **J Sports Sci**, 12, 561-566.
- Issurin, V.B & Tennenbaum, G. (1999). Acute and residual effects of vibratory stimulation on explosive strength in elite and amateur athletes. **J Sports Sci**, 17, 177-182.
- Jackson, S.W & Turner, D.L. (2003). Prolonged muscle vibration reduces maximal voluntary knee extension performance in both the ipsilateral and the contralateral limb in man. **Eur J Appl Physiol**, 88, 380-386.
- Jones, D., Round, J. & de Haan, A. (2005). **Skeletal Muscle from Molecules to Movement**. London: Churchill Livingstone.
- Jordan, M.J., Norris, S.R., Smith, D.J. & Herzog, W. (2005). Vibration training: an overview of the area, training consequences and future considerations. **J Strength Cond Res**, 19(2), 459-466.
- Kerschman-Schindl, K., Grampp, S., Henk, C., Resch, H., Preisinger, E., Fialka-Moser, V & Imhof, H (2001). Whole-body vibration exercise leads to alterations in muscle blood volume. **Clin Physiol**, 21, 377-382.
- Kin-İşler, A. (2003) Titreşimin İzometrik Kuvvete Etkisi. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü.
- Kin-İşler, A., Açıkada, C & Arıtan, S. (2006). Effects of vibration on maximal isometric muscle contraction at different joint angles. **Iso Exerc Sci**, 14(3), 213-220.
- Kouzaki, M., Shinohara, M & Fukunaga, T. (2000). Decrease in maximal voluntary contraction by tonic vibration applied to a single synergist muscle in humans. **J Appl Physiol**, 89, 1420-1424.
- Kroamer, K.H.E. & Grandjean, E (1997). **Fitting the Task to the Human**. London: Taylor & Francis.
- Latash, M.L. (1998). **Neurophysiological Basis of Movement**. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Lundeberg, T., Nordemar, R & Ottoson D. (1984). Pain alleviation by vibratory stimulation. **Pain**, 20, 25-44.
- Lundeberg, T., Abrahamson, P., Bondesson, L & Ahker, E (1988). Effect of vibratory stimulation on experimental and clinical pain. **Scan J Rehab Med**, 20, 149-159.
- Luo, J., McNamara, B & Moran, K. (2005a). The use of vibration training to enhance muscle strength and power. **Sports Med**, 35, 23-41.
- Luo, J., McNamara, B.P & Moran, K. (2005b) A portable vibrator for muscle performance enhancement by means of direct muscle tendon stimulation. **Med Eng Phys**, 27(6), 513-522.

- Martin, B.J. & Park, H.S. (1997). Analysis of the tonic vibration reflex: influence of vibration variable on motor unit synchronization and fatigue. **Eur J App Physiol**, 75, 504-511.
- Martinho Pimenta, A.J & Castelo Branco, N.A. (1999a) Epilepsy in the vibroacoustic disease: a case report. **Aviat Space Environ Med**, 70, A 122-127.
- Martinho Pimenta, A.J & Castelo Branco, N.A. (1999b) Neurological aspects of vibroacoustic disease. **Aviat Space Environ Med**, 70, A91-95.
- Mester, J., Spitzenpfeil, P & Yue, Z. (2005). Vibration loads: potential for strength and power development. In Komi, P.V. (Ed). **Strength and Power in Sport**. (pp 488 - 501) Oxford: Blackwell Science.
- Mester, J., Kleinöder, H & Yue, Z. (2006) Vibration training: benefits and risks. **J Biomech**, 39(6), 1056-1065.
- Moran, K., McNamara, B & Luo, J. (2007). Effect of vibration training in maximal effort (%70 1RM) dynamic biceps curls. **Med Sci Sport Exerc**, 39(3), 526-533.
- Powers, S.K. & Howley, E.T. (2004). **Exercise Physiology: Theory and Application to Fitness and Performance**. New York: McGraw Hill.
- Rehn, B., Lidström, J., Skoglund, J. & Lindström, B. (2007). Effects on leg muscular performance from whole-body vibration exercise: a systematic review. **Scand J Med Sci Sports**, 17, 2-11.
- Ribot-Ciscar, E., Rossi-Durand, C & Roll, J.P. (1998). Muscle spindle activity following muscle tendon vibration in man. **Neuroscience Letters**. 58, 147-150.
- Rittweger, J., Schiessl, H & Felsenberg, D. (2001). Oxygen uptake during whole-body vibration exercise: comparison with squatting as a slow voluntary movement. **Eur J App Physiol**, 86,169-173.
- Rittweger, J., Ehrig, J., Just, K., Mutschelknauss, M., Kirsch, K.A & Felsenberg, D. (2002). Oxygen uptake in whole-body vibration exercise: influence of vibration frequency, amplitude and external load. **Int J Sports Med**, 23, 428-432.
- 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 Im**, 23, 81-86.
- Roelants, M., Delecluse, C & Verschueren, S.M. (2004). Whole-body vibration training increases knee-extension strength and speed of movement in older women. **J Am Geriatr Soc**, 52, 901-908.
- de Rooter, C. J., Linden, R.M., Zijden, M.J.A., Hollander, A.P & Haan, A. (2003). Short-term effects of whole-body vibration on maximal voluntary isometric knee extensor force and rate of force rise. **Eur J Appl Physiol**, 88, 472-475.
- Russo, C.R., Lauretani, F., Bandinelli, S., Bartali, B., Cavazzini, C., Guralnik, J.M & Ferrucci, L. (2003). High-frequency vibration training increases muscle power in postmenopausal women. **Arch Phys Med Rehabil**, 84, 1854-1857.
- Samuelson, B, Jordfeldt, L & Ahlberg, B. (1989). Influence of vibration on endurance of maximal isometric contraction. **Clin Physiol**, 9, 21-25.
- Torvinen, S., Kannus, P., Sievanen, H., Jarvinen, T.A.H., Pasanen, M., Kontulainen, S., Jarvinen, T.L.N., Jarvinen, M, Oja, P. & Vuori, I.

(2002a). Effect of four-month whole-body vibration on performance and balance. **Med Sci Sport Exerc**, 34(9), 1523-1528.

Torvinen, S., Kannus, P., Sievanen, H., Jarvinen, T.A.H., Pasanen, M., Kontulainen, S., Jarvinen, T.L.N., Jarvinen, M, Oja, P & Vuori, I. (2002b). Effect of a vibration exposure on muscular performance and body balance. Randomized cross-over study. **Clin Physiol & FuncIm**, 2, 145-152.

Warman, G., Humphries, B & Purton, J (2002). The effects of timing and application of vibration on muscular contractions. **Aviat Space Environ Med**, 73(2), 119-27.