

Tedavi Edici Ultrasonun Etkin Kullanımında Kalibrasyon Çalışmalarının Önemi

Importance of Calibration for Effective use of Therapeutic Ultrasound

Hakan TUNA

Trakya Üniversitesi Tıp Fakültesi, Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon Anabilim Dalı, Edirne, Türkiye

Özet

Tedavi edici ultrason kullanılan en yaygın elektrofizyolojik ajandır. Kullanıcılar genellikle ultrasonik üreticinin teknolojik ayrıntılarının farkında değildir ve onlardan ekipmanlarını test etmek için karmaşık fiziksel ölçümleri uygulamaları da istenemez. Sıklıkla cihazın performansını kontrol etmenin tek yolu piezoelektrik probun yüzeyine konulan yağ ya da suyun izlenmesidir. Eğer kabarcıklanma izlenirse cihaz doğru çalışıyor kabul edilir. Tedavi edici ultrason çıktılarını kontrol eden bir çok çalışmada çoğu cihazın gerçek ultrasonik çıktıları ile cihazda izlenen değerler arasında uyumsuzluk olduğu ortaya konmuştur. Uluslararası güvenlik standartları ultrason tedavi ekipmanları için akustik yoğunlukta %30'un altında sapma sınırlaması önermektedir. Ultrason cihaz kalibrasyonunun geliştirilmeye ihtiyacı vardır. Doğru kalibrasyon hastaların daha uygun dozda ve güvenli tedavi almalarını sağlar. Bu derleme cihaz hataları ve düzenli kalibrasyon potansiyellerinin farkında olmaları konusunda kullanıcılara ışık tutacaktır. Kullanıcılar eğitim süreçleri içerisinde sistematik bir yaklaşımla ultrason cihazlarının spesifik değişkenleri konusunda daha iyi bilgilendirilebilir. *Türk Fiz Tıp Rehab Derg 2011;57:94-100.*

Anahtar Kelimeler: Tedavi edici ultrason, kalibrasyon, fizik tedavi ajanı

Summary

Therapeutic ultrasound is one of the most widely used electrophysical agents. The users are generally not well aware of the details of the technology of ultrasonic generators and cannot be asked to perform the complicated physical measurements to test their equipment. Frequently, the only way to check the performance of the device is the observance of oil or water bubbles on the surface of the piezoelectric probe. If bubbles are present, the generator is regarded as operating correctly. Many surveys on the output of therapeutic ultrasound equipment have revealed discrepancies between the indicated and actual ultrasonic output of many devices. International safety standards recommend a limit below 30% variation in acoustic intensity for ultrasound therapy equipment. So, further improvements in the accuracy of ultrasound machine calibration are needed. Proper calibration is essential to provide patients with a more accurate ultrasound dosage and, therefore, with a safer and more appropriate treatment. This review highlights the need for users to be aware of the potential inaccuracy of the machine and of the importance of regular calibration. They could be informed better with a systematic training in their education curricula on specific variables of ultrasound machines. *Turk J Phys Med Rehab 2011;57:94-100.*

Key Words: Therapeutic ultrasound, calibration, physical therapy agent

Ultrason Nedir?

İnsan 16 ile 20 000 Hz arasındaki sesleri işitir. Ultrason 20 000 Hz frekans üzerindeki ses dalgaları olarak tanımlanır. Tedavide kullanılan ultrason dalgaları genellikle 0,75-3,3 MHz arasındadır (1). Ultrason tıbbi olarak tanınal ve tedavi edici amaçla kullanılabilir (2). Tedavi edici ultrason 60 yıldan daha fazla süredir akut

ve kronik ağrı tedavisinde, kas iskelet sistemi hastalıklarında yoğun olarak uygulanmaktadır. Ayrıca litotripside, tendon yaralanmalarında, kemik onarımının uyarılmasında, homeostazis oluşumunda ve fonoforezle topikal ilaç uygulamada kullanılmaktadır (3). Yumuşak doku lezyonlarının tedavisinde en yaygın kullanılan ajan olmakla beraber, tedavi edici ultrasonun etkinliği ile ilgili tartışmalı yayınlar bulunmaktadır (4). Yayınların metod içeriğinde tedavi değişkenleri hakkında yeterli tanımlamalar yapılmadığı hal

de, ultrasonun kas iskelet sistemi travmalarında, yumuşak doku iyileşmesinde plesebo uygulamalardan daha etkili olmadığı bildirilmektedir. Bir çok parametrenin etkin olduğu ultrason tedavisinde bu parametrelerin niteliği tam olarak ortaya konmadan ultrason tedavisi konusunda hüküm vermek doğru değildir. Yumuşak doku lezyonları tedavisinde ultrasonun etkinliği konusunda zayıf deliller bulunmakla birlikte, kabul edilebilir tedavi dozu hakkında farklı görüşler bulunmaktadır (5). Bu nedenle, tedavi edici ultrason cihazlarından sağlanan çıktılarının standardize edilmesi, deneysel ve tedavi protokollarının oluşturulması ve en etkin parametrelerin saptanması gerekmektedir. Bu yolda kalibrasyon çalışmalarının önemli katkıları olacağı bilimsel gerçekliktir.

Terminoloji

Tedavi edici ultrason kullanımında terimlerin doğru olarak tanımlanması ve bilinmesi ortak terminoloji açısından öncelikle gerekmektedir (Tablo 1) (1,2,4,6). Aynı tabloda bu terimlerin İngilizce, Türkçe karşılıkları ve kısaltmaları birlikte verilip derleme içinde daha kolay anlaşılması için sıkça kullanılmıştır.

Ultrasonun Üretimi

Ultrason, ultrason başlığındaki kristale yüksek frekanslı alternatif akımın tatbik edilmesiyle oluşur. Kristal piezoelektrik özellikte bir maddeden oluşmaktadır. Yani ses enerjisini elektrik enerjisine dönüştürür; tersi de gerçekleşir, bu kristallerden elektrik akımı geçtiği zaman spesifik frekansta titreşim açığa çıkar (1,2). Bu amaçla kuvarz, sentetik plumbium zirconium titanate (PZT), baryum titanat kristalleri kullanılır. Günümüzde en etkili ve hesaplı piezoelektrik madde olması nedeniyle genellikle PZT kullanılır. Kristal yüksek frekanslı elektrik enerjisi tatbiki ile şekil değişikliğine uğrar ve ultrason başlığında titreşime neden olur (1).

Ultrason dalgaları kaynaktan çıktıktan sonra önce konverjan daha sonra diverjan yayılım gösterir. Konverjan bölge yakın alan (Fresnel bölgesi), diverjan bölge de uzak alan (Fraunhofer bölgesi) olarak adlandırılır. Ultrason ışınlarının karışması yakın alanda ultrason yoğunluğunda çeşitliliğe sebep olmaktadır. Uzak bölgede ışınlar daha az dağınık ve bu ultrason yoğunluğunda daha üniform bir dağılımla sonuçlanır.

Yakın alanın uzunluğu $= r^2/\lambda$ (r: ultrason başının yarıçapı, λ : ultrasonun dalga boyu) formülü ile hesaplanır (1,6).

Ultrasonun Fizyolojik Etkileri

Termal Etkiler

Ultrason, termal etkisi ile doku esnekliğini ve kan akımını artırır, ağrı modülasyonu ve hafif enflamatuvar yanıt sağlar, eklem katılığı ve kas spazmını azaltır.

a) Dokularda Isı Dağılımı

Ultrasonik dalgalar dokuda yol aldıkça enerjilerinin bir kısmını kaybederler, bu işleme atenüasyon (zayıflama) denir. Dokuda atenüasyon absorpsiyon, sinyal ayrılması ve yön değiştirme gibi çeşitli mekanizmalar ile gelişir. Ultrason atenüasyonunun başlıca sebebi absorpsiyondur. Ultrasonik enerji doku tarafından absorbe edilerek sonuçta ısıya dönüşür. Dokuların çoğu için frekans arttıkça atenüasyon da artar, böylece 1,0 MHz'lik bir sinyal düşük atenüasyonu nedeniyle, 3,0 MHz sinyale göre daha derine nüfus eder (1). Sinyal ayrılması, uygulama başlığından dışarı ayrılan sinyal miktarıdır. Frekans arttıkça sinyal ayrılması azalır, böylece yüksek frekansta daha fazla odaklanmış sinyal demeti bulunur (7).

Ultrason dalgaları akustik empedansı çok farklı dokular arasında kullanıldığında diğer dokuya daha az transfer olur. Bu durumda daha fazla olması beklenen yansıma eylemi sonucunda "standing

wave" (sabit dalga) oluşabilir ki bu da yan etkinin başladığını göstermektedir, diğer adı "sıcak nokta" (hot point)' dir; böyle bir etkiyi engellemek için pulse uygulama ve başlığın hareketlerini arttırmak en iyi çözümdür (1,2,6,8,9).

b) Etkilenen Dokular

Ultrason dalgaları su içeriği yüksek dokularda (örneğin yağ dokusu) düşük oranda absorbe edilirken, protein ve kollojenden zengin dokularda (örneğin tendon, ligament, iskelet kası) yüksek oranda absorbe olur. Ultrason yağ dokusu veya ciltte belirgin bir ısı artışı oluşturmadan tendonlar, kaslar, ligamanlar, eklem kapsülleri, intermusküler yüzeyler, sinir kökleri, periosteum, kortikal kemik ve diğer derin dokuları terapotik aralık içinde selektif olarak ısıtabilir (1).

Termal Olmayan Etkiler

Kavitasyon, akustik ve mikro-akışkanlık, fibroblastik aktivitede, protein sentezinde, kan akımında, doku rejenerasyonunda ve kemik iyileşmesinde artıştır. Kavitasyon, ultrason uyarısı sonucu içerdikleri doku sıvısında basınç değişiklikleri nedeniyle genişleyen ve sıkışan içi gaz dolu kabarcıkların oluşumudur. Ultrason devamlı (continuous) ve kesikli (pulse) formlarda kullanılabilir (1,2,6,10).

Non-termal etkileri arttırılabilmek için termal etkilerin azaltılması gerekmektedir. Bunu sağlayabilmek için sürekli formda uygulanan ultrasonun yoğunluğu SATA (spatial-averaged temporal-averaged intensity) 0,1-0,2 W/cm² olmalıdır. 0,2 W/cm² TA₁ (temporal-averaged intensity) oluşturabilmek için %20 görev siklusünde 1,0 W/cm² yüksek bir TP₁ (temporal peak intensity) ile pulse edilen düşük bir TA₁ kullanılarak sağlanabilir (1).

Ultrasonun termal ve non-termal etkilerinin geleneksel olarak ayrıştırılacağı düşünülse de, tedavi seansında bu etkileri ayrıştırma olasılığı mümkün değildir. Devamlı (termal etki) ya da pulse (non-termal etki) formlarda uygulama ile bu etkilerden birini baskın hale getirebilir ancak pratikte diğerini yok edemeyiz (1,2,6,10).

Ultrasonun Hedef Dokudaki Etkinliği ile İlgili Faktörler:

Frekans: Her saniyede tamamlanan dalga dizilerinin sayısıdır. Birimi MHz'dir. Ultrasonun başlık kısmında 1 veya 3 MHz frekans üretebilen bir titreşim kaynağı bulunur. Ultrasonik penetrasyon derinliğini belirleyen yoğunluk olduğu (1,5 veya 2 W/cm² gibi yüksek yoğunlukların derin ısıtmada, <1 W/cm² gibi düşük yoğunlukların da yüzeysel ısıtmada kullanıldığı gibi görüşler) sıklıklar rastlanan yanlış bir kavramdır. Oysa doku penetrasyon derinliğini belirleyen ultrasonun yoğunluğu değil frekansdır (6). Daha önce de belirttiğimiz gibi 1 MHz'te oluşan ultrason enerjisi düşük atenüasyonu nedeniyle 2-5 cm derinlik gibi derin dokularda absorbe olur. Bu nedenle 1 MHz frekans yağ dokusu oranı yüksek olan hastalarda aynı zamanda soleus ve piriformis kasları gibi derin yapıların tedavisinde daha kullanışlıdır (1,2,6,10,11).

Patellar tendinit, epikondilit gibi yüzeysel durumların tedavisinde 1-2 cm'lik penetrasyonu nedeniyle 3 MHz frekansla tedavi daha uygundur. Bununla birlikte 3 MHz'lik uygulama ile ultrasonun dokuda ısıyı arttırma etkisi 1 MHz'den üç kat daha fazladır; bu durum insan kas dokusunda daha hızlı bir ısı artışına yol açmaktadır. Fazla ısınmayı engellemek amacıyla 3 MHz'lik tedavide süre 1 MHz uygulamasına göre 1/3 oranında tercih edilmektedir (1,6).

Yoğunluk (Watt/cm²): Ultrasonun dokudaki etkisi dokudaki yoğunluğuna bağlıdır. Doz, çok düşük olursa tedavi etkisizdir. Yüksek olur ise dokuda tahribat gelişir. Köpeklerde yapılan çalışmalarda 3 W/cm² üzeri değerlerde kemik büyümesinde gerileme, kemik iliğinde hasar gösterilmiştir (12). Zeqiri (13) çeşitli uluslararası güvenlik standartlarına göre üst limitin belirlendiğini, Dünya Sağlık Örgü-

tütü'nün maksimum 3,0 W/cm² yoğunluk önerdiğini ancak bu değerlendirilmede yüksek uzaysal tepe yoğunluğunun (SPI) göz önünde bulundurulmadığını, bu açıdan yüksek dozdan kaçınılması gerektiğini bildirmiştir.

Uygulayıcı Başlığın Etkin Işınım Alanı [Effective Radiating Area (ERA)]: Transdüser yüzeyinin aktif ultrason dalgası üreten alanıdır. Birimi W/cm²'dir. Ultrason tedavisinde total enerji, uygulanan cihaz probunun etkin ışınım alanı ile ilgilidir. Ultrason kullanılarak tedavi edilecek uygun alan ERA'nın 2-3 katıdır. Bu görüşü desteklemek için yapılan bir çalışmada 1,5 W/cm², 1 MHz ve 10 dakika süreyle ultrason uygulaması sonrası insan kasında ulaşılan pik ısı ölçülmüştür. Tedavi alanı 10 kişi için 2 ERA, diğer 10 kişi için 6 ERA olarak belirlenmiştir. Sonuçta 2 ERA'lık grupta 3,6°C'lik artış, 6 ERA'lık grupta ise sadece 1,1°C'lik artış saptanmıştır. Patellar tendon ısısını arttırmada kullanılan 1 W/cm², 3 MHz ultrason uygulamasında da benzer sonuçlar saptanmıştır. Karşılaştırılan 2 ve 4 ERA'lık grupların sonucunda 2 ERA'lık uygulama ile daha yüksek ve uzun süreli ısınma sağlanmıştır. Bu ultrasonun küçük alanların tedavisinde daha etkin olduğunu göstermektedir. Sıcak paketler, girdap banyoları ve kısdalga diatermi daha geniş alanların ısıtılması için ultrasona göre avantajlı konumdadır (6).

Etkin ışınım alanı, piezoelektrik elementler ultrasonu uniform üretmedikleri için başlığın geometrik alanından genellikle küçüktür. Bu bilgiler ışığında, üretici tarafından belirlenen probun ERA'sı dikkate alınarak yapılan çalışmaların, tedavi etkinlik karşılaştırması açısından daha doğru sonuçlar sunacağı rahatlıkla söylenebilir (5,8,9).

Işın Değişkenliği Oranı [Beam Non-Uniformity Ratio (BNR)]: Ultrason ışınları longitudinal aksları boyunca homojen olarak uzanmazlar. Transdüser yüzeyinden uzakta bazı noktalar diğerlerinden daha yoğundur. Ultrason ışınlarındaki değişkenliğin miktarı BNR ile belirlenir. Işın değişkenlik oranı ne kadar yüksek (8/1) olursa doku hasarı riski o kadar yüksek olur. Düşük oran daha uniform çıktı sağlayarak sıcak nokta oluşma riskini engeller. Ancak pratikte 1/1 ışın düzensizlik oranı olması imkansızdır. Örneğin uzaysal ortalama yoğunluğu (SAI) 1,5 W/cm² olan ve maksimum BNR 5:1 olan ultrason başlığı kullanımında uzaysal tepe yoğunluğu (SPI) 7,5 W/cm²'ye ulaşır. Oranın 6:1 olduğu durumda ise uzaysal pik yoğunluk (SPI) 9 W/cm² gibi zararlı bir doza ulaşır. FDA her bir cihazın üzerinde ultrason başlığının maksimum BNR değerinin belirtilmesini şart koşmuştur. Yüksek BNR ile ilişkili olan yüksek pik yoğunlukları ultrason tedavisi sonrasında ortaya çıkan periostal ağrı veya rahatsızlık

Tablo 1. Ultrason tedavisinde kullanılan yaygın terimler (1,8-10).

Terim	Tanım
Tansducer (ultrason başı)	Elektrik enerjisini ultrasona dönüştüren kristal. Kristali içeren ultrason ünitesi için de aynı terim kullanılır.
Power (güç)	Akustik enerjinin birim zamandaki miktarı (W)
Intensity (yoğunluk):	Ultrason başının birim alanındaki gücü (W/cm ²)
Dokunun akustik empedansı	Dokunun yoğunluğu ile ultrason dalgaları arasındaki ilişki, dokunun ses dalgalarına gösterdiği direnç
"Attenuation" (zayıflama)	Doku geçişi sırasında enerjinin progresif olarak azalması
"Coupling medium" (ara madde)	Hava ve yumuşak dokuda ultrasonun yansımaları önlemek üzere kullanılan materyel
"Duty cycle" (görev siklusu)	Ultrasonun total zaman içinde çalışır olduğu durum: açık kapalı oranı örneğin %20 ya da 1:5
Standing wave (sabit dalga)	Işınların yansıma sonrası yoğunlaşmış dokuda yan etki oluşturma potansiyeli olan nokta
(hot spot) (sıcak nokta)	
Effective Radiating Area (ERA)	Probon ultrason enerjisi yayan bölümü
(etkin ışınım alanı)	
Spatial averaged intensity (SAI)	Probon ortalama yoğunluk değeri. Elde edilen gücün etkin ışınım yayan alana bölünmesi ile elde edilir.
(uzaysal ortalama yoğunluk)	
Spatial peak intensity (SPI)	Uygulama esnasında maksimum güç değeri
(uzaysal tepe yoğunluğu)	
Beam non-uniformity ratio (BNR):	Işın yoğunluğunun değişkenliği: transdüserin maksimal yoğunluğunun ortalama yoğunluğa oranı. Genellikle 5:1 ve 6:1'dir.
SPI/SAI (ışın değişkenliği oranı)	
Temporal peak intensity (TPI)	Pulse ultrason uygulaması esnasında elde edilen en yüksek değer
(geçici tepe yoğunluğu)	
Temporal-averaged intensity (TAI)	Pulse terapinin açık ve kapalı konumlarında ortalama güç
(geçici ortalama yoğunluğu)	
Spatial-average temporal average intensity (SATA)	Pulse terapi sırasında ortalama güç, uzaysal ortalama geçici ortalama yoğunluğu
Spatial averaged temporal peak intensity (SATP)	Pulse terapi sırasında maksimum güç, uzaysal ortalama geçici pik yoğunluk

hissinin çoğundan sorumludur. Kavitasyon, sıcak nokta ve hasarlı doku alanlarından sakınmak için tedavi süresince transdüserin hızlı hareket ettirilmesi de çok önemlidir(6).

Uygulamanın Devamlı veya Kesikli Olması

Devamlı ultrason dalgalarında yoğunluk tedavi boyunca sürdürülmekte ve ultrason enerjisi tedavi süresinin %100'ünde üretilmektedir. Termal etkileri oluşturmak amacıyla kullanılmaktadır. Kesikli ultrasonda yoğunluk, ultrason enerji üretiminin olmadığı kapalı devre ile periyodik olarak kesilmektedir (6). Kullanımı doku ısısında bir düşüşle sonuçlanır. Akut vakalarda kesikli, kronik olgularda devamlı uygulama tercih edilmektedir (1,6).

SATP X duty cycle(görev siklüsü) = SATA

Örneğin: Ultrasonun pulse formunda % 20'lik görev siklüsünde 1 W/cm^2 SATP = $1 \times 0,2 \text{ W/cm}^2$ SATA = $0,2 \text{ W/cm}^2$ SATA

Bu dokuya dağılan enerji miktarının ölçümüdür.

Ultrasonun sürekli formunda SATA ile SATP'nin eşit olduğu bilinmelidir (1).

Ara madde: İki ortam ara yüzeyinden yansıyan dalganın miktarı akustik empedans farkına bağlıdır. İdeal ultrason tedavisinde kullanılacak ara maddenin akustik empedansı, dokuya benzer olmalıdır. Bağlantı maddesinin etkinliğini belirleyen üç faktör vardır:

1. Maddenin ultrason gücünün zayıflamasına neden olan emilim
2. Ultrason kaynağına geri yansıyan güç miktarını belirleyen, kullanılan madde ve aletin ses başlığı arasındaki empedans uyumu
3. Maddeye yansıyan güç miktarını belirleyen madde ve ücüt dokusu arasındaki empedans uyumudur (14).

Casarotto (15) yaptığı çalışmada ara madde olarak su, jel, mineral yağ ve vazelin test etmiştir. Su ve jel, mineral yağ ve vazeline göre, en yüksek geçiş değerini, en düşük yansıma ve absorpsiyon değerini göstermişlerdir. Su ve jelin akustik empedansı cilde yakındır. Termal veriler vazelin ve mineral yağlı uygulamalarda uygulayıcı başlıkta yüksek ısı olduğunu ortaya koymuştur.

Probun Hareket Hızı ve Açısı: Guirro (16), uygulanan dokuya ultrason dalgasının belirli bir açıyla girmesi sonucunda farklı açıyla dağılıma, yansıma ve absorbe olmasının da ultrason etkinliğini değiştirdiğini belirtmiştir. Ultrason başlığı 4 cm/saniye hızı ile hareket ettirilmelidir (1).

Ultrasonun Kullanım Alanları

1920'li yıllarda piezoelektrik materyelden üretilen ultrason su altında geniş mesafeleri taramak amacıyla kullanılmıştır (17). Ziskin (7), derlemesinde medikal uygulamalarda kullanılan ultrasonun geçici ortalama yoğunluklarını (TA_1) belirtmiştir. Tanısal amaçlı görüntüleme $0,1 \text{ W/cm}^2$ 'nin altında, doppler uygulamada $1,0 \text{ W/cm}^2$ 'nin altında, tedavi amaçlı: $1-3 \text{ W/cm}^2$ aralığında ve cerrahi uygulamalarda 10 W/cm^2 'nin üzeri değerlerde kullanılmaktadır. Kırık iyileşmesinde $0,15 \text{ W/cm}^2$ ultrason tedavi dozu 1994 yılında FDA tarafından onaylanmıştır (6).

Kalibrasyon Nedir?

Türk Akreditasyon Kurumunun (TÜRKAK) tanımına göre kalibrasyon doğruluğundan emin olunan (izlenebilirliği sağlanmış) referans ölçüm cihazı ile doğruluğundan emin olunamayan bir ölçüm cihazını mukayese ederek ölçüm sonuçlarını raporlama işlemidir. Kalibrasyon bir ayarlama işlemi, bakım veya tamir değildir (18).

Kalibrasyon Yaptırmak Niçin Gereklidir?

Ölçüm cihazının gösterdiği değerlerin gerçek değerlere ne kadar yakın olduğunun tespiti için gereklidir (18). Ayrıca cihazlarla

yapılan tedavinin sorumluluğu klinisyenin üzerindedir. Bu farkındalığı arttırma yolunda eğitim programları içerisine sürekli yenilenen spesifik cihaz verilerinin ve kalibrasyon hizmetlerinin girmesi gerekmektedir. Unutulmaması gereken bir diğer nokta, kalibrasyon çalışmalarının kalite standartlarındaki değeridir. Bu nedenle mezuniyet sonrası eğitim programları içerisine bu değerlendirmeler dahil edilmelidir. Bazı çalışmalarda son dönemde tedavi edici ultrason etkinliğinin arttığı belirtilmiştir; bunu sağlayan faktörler olarak da teknisyen ve üreticilerin konu hakkındaki farkındalığı ve kalibre cihazların rol oynadığı bildirilmiştir (12).

Kalibrasyon Yaptırmak Zorunlu Mudur?

Endüstriyel alanda kalibrasyon tercihe bağlıdır. Ancak ISO 9000 veya benzer standartlara göre belge alınacaksa standardın gereği izleme ve ölçme cihazları zorunlu olarak kalibrasyona tabi tutulmaktadır (18,19). 11.04.2006/709110 sayılı Sağlık Bakanlığı tıbbi cihaz alım genelgesinde "her türlü tıbbi cihazın satın alınması veya kullanım hakkı sağlanması için yapılacak ihale aşamasında düzenlenecek şartnamelerde, gerek garanti süresi içinde gerekse garanti süresi sonrasında yapılması gereken periyodik bakım sürelerinin belirtilmesinin istenilmesi ve cihazların kalibrasyon süreleri ile kalibrasyona ilişkin firma yükümlülüğünün ne olacağının açıkça belirtilmesi gerekmektedir" ibaresi bulunmaktadır. Satışı yapılan cihazların mutlaka ulusal standartlara göre kalibrasyon belgeli olma zorunluluğu getirilmelidir (20).

Kalibrasyon Ne Zaman Yaptırılmalıdır?

Cihaz ilk alındığında, tamir, ayar, bakım sonrası, cihazın ölçüm sonuçları ile ilgili herhangi bir şüphe oluştuğunda ve belirlenen periyotlarda kalibrasyon yapılmalı veya yaptırılmalıdır. Ayrıca cihaz kalibrasyondan sonra çarpmaya, düşmeye maruz kalmışsa, hasar görmüşse, kalibrasyon süresi geçmişse kalibrasyonu geçersiz olmaktadır (18,21). Kalibrasyon her iki yılda bir önerilmekle birlikte cihazın yaşı ve kullanım süresi ile ilişkili olarak bu süre kısalmaktadır. Ayrıca son zamanlarda kalibrasyon cihazlarının da her yıl kalibre edilmesi gerektiği görüşü bildirilmektedir (22). Klinisyene biyomedikal ünitelerinden yıllık kalibrasyon istemesi, değerlerdeki sapma %20'nin üzerinde ise kalibrasyon işlemleri için başvurması, yine düzelme olmuyor ise üreticiye bildirmesi şeklinde bir yol haritası önerilmektedir. Bazı markaların kalibrasyon sapma değerleri açısından diğerlerinden daha iyi sonuçlar verdiği bildirilmektedir (12). Kalibrasyon sertifikaları cihazın kullanıldığı yerlerde muhafaza edilmelidir. Bazı çalışmalar üreticiden kabul edilebilir kalibrasyon sertifikası isteme gerekliliğinin önemini bildirilmektedir (21).

Kalibrasyon Yapan Merkezler

TÜRKAK tarafından akredite edilmiş 64 kalibrasyon laboratuvarı mevcuttur. Bu laboratuvarlara

<http://www.turkak.org.tr/index.php/home> adresinden ulaşılmaktadır. Liste zaman içinde değişmektedir. Akreditasyon laboratuvarının kendisinin akredite olup olmadığı mutlaka sorgulanmalıdır. İlgili firmaların internet sitelerinde hangi medikal cihazlara kalibrasyon yaptıkları belirtilmektedir.

Trakya Üniversitesi Tıp Fakültesinde ISO çalışmaları Kalibrasyon Laboratuvarı kurulumunu hızlandırmıştır. Geçmişte ödenen kalibrasyon hizmet bedelleri düşünülerek kalibrasyon hizmetini ucuza maletmek ve zamanında yapmak, arızalanan cihazların rekabirasyon işlemlerini gerçekleştirmek ve tıbbi cihazların uzun süre kullanım dışı kalarak teşhis ve tedavi sürecini aksatmasını engellemek amacıyla kalibrasyon laboratuvarı kurulmuştur. Çevre hastanelere hizmet sunabilmek de amaçlanmıştır. Üniversitemizin Sağ-

lık Araştırma ve Uygulama Merkezi'ndeki Tıbbi Cihazların Kalibrasyonu Tübab-860 projesi, 2008 yılında bu derlemenin yazarı tarafından proje yöneticisi olarak gerçekleştirilmiştir.

Dünyada Fizik Tedavi Cihaz Kullanımında Kalibrasyon Farkındalığı

Tedavi edici ultrasonun fizik tedavi ajanı olarak kullanımı 1950 sonrasında artmıştır (23). İngiltere sağlık sisteminde yıllık bir milyon üzerinde tedavi programı olduğu belirtilmiştir (24). Ultrason cihazları doğruluğunun önemi ilk defa 1956 yılında ABD'de kalibrasyon standartları oluşturulurken anlaşılmıştır (25). Shaw (3), Pye'nin (20) bildirdiği termal yaralanmalı 4 olgu sonrasında, sağlık hizmet sunucularının, ard arda yapılan güvenlik toplantılarında cihaz kalibrasyon hizmeti alınması zorunluluğunu şiddetle vurguladıklarını belirtmiştir. 1974'ten itibaren yapılan kalibrasyon ölçümlerinde hayal kırıklığı yaratan sonuçlar mevcuttur. Bunun sebebi uygun ölçüm yönteminin bulunamamış olması olabilir mi? Yoksa tedavi zamanı, frekansı, efektif ışınım alanı, ışın düzensizlik oranı, akustik güç çıktısı gibi tedavi etkenlerinin değerlendirmesinde temel standart ve kılavuzların yokluğu mudur? Bu ayrı bir tartışma konusudur. Uluslararası Elektroteknik Komitesi 1996 yılında Cenevre'de, 2002 yılında Sidney'de ultrason cihazlarının (0,5 ila 5 MHz) performans gereç ve ölçüm yöntemleri standartlarını sağlamak amacıyla toplanmıştır. En son 2005 yılında Sidney'de "Ultrasonun test ve kalibrasyon kılavuzu" başlığı altında yapılan toplantı konu öneminin giderek arttığını göstermektedir (22). Bununla birlikte ultrason uygulayıcılarının ultrasonun endikasyon, kontrendikasyon, doz ve uygulama yöntemleri, ultrasonun biyolojik ve fizik yönlerini içeren yapılandırılmış kurslardan düzenli olarak yararlanmaları gerektiği bildirilmiştir (26).

Kalibrasyonda Altın Standart ve Kabul Edilebilir Standartlar

Uluslararası Elektroteknik Komisyonu 2007 (International Electrotechnical Commission=IEC) kalibrasyon hizmetleri için kılavuz yayın hazırlamıştır. Bu kılavuzda, uygun test gereçlerine rağmen fizik tedavi cihazlarının kalibrasyonunda ilerleme kaydedilemediği, tedavi cihazlarının giderek ucuzlaması ile hem üretici hem de kullanıcının kalibrasyonda basit teknik yöntemlerden fayda sağlayabileceği bildirilmiştir (3).

Artho'nun (12) 2002'de "Physical Therapy"de yayınlanan makalesinde, kalibre edilen cihazların çıktı hata oranı şu formülle hesaplanmıştır: [(kalibrasyon cihazı ile ölçülen güç değeri X ultrason cihazındaki güç)/ ultrason cihazındaki güç] X 100

Schabrun (22) aynı formülle kalibrasyon cihazında ölçülen değer yerine gerçek değer tanımlamasını yapmıştır. Artho'nun (12) makalesi yayımlandıktan sonra aynı dergiye Hussey, editöre iletilmek üzere çalışma hakkında görüşlerini iletmıştır. Hussey (27) yazısında cihazların çıktı hata oranı formülünü:

[(cihazda gösterilen güç- gerçek güç) / (gerçek güç)] x 100, şeklinde hesaplamının daha doğru bir yöntem olarak belirlemiştir.

Güncel Uluslararası Elektroteknik Komisyonu ultrason için çıktı gücün $\pm\%15$ sınır aralığında olması gerektiğini ifade etmiştir. Avustralya-Yeni Zelanda'daki standart komisyonlar da bu değeri $\pm\%20$ olarak kabul etmiştir (22). Bu terim ultrason cihazlarından üretilen gücün $\pm\%20$ 'nin üstünde sapma göstermemesi demektir (11,28). Ultrason cihazlarının zaman ayarlayıcıları için bu değer $\pm\%5$ sapma olarak belirlenmiştir (22).

Kalibrasyon Yapılmayan Cihazların Kullanımı Sonucunda Gelişmeler

Doğru kararlar ancak güvenilir verilere bağlı olarak verilebilir. Hatalı ölçümlere bağlı alınan kararlar ve uygulamalar prestij, işgücü ve para kaybına neden olur (18).

Bir çok araştırmacı, ultrason cihazlarının çıktılarını ölçmüş ve sonuçların $\%30$ 'un üzerinde değişim gösterdiğini belirtmiştir (20,29-31). Bu durum cihazda okunan değer ile hastaya uygulanan değer arasındaki farklılıkları göstermektedir. Bu farklılıklar tedavi sonuçlarını etkileyerek bazı çalışmalarda ultrason tedavisinin etkin olmadığı görüşünü oluşturmaktadır (32).

Konu ile ilgili çalışmalarda bazı olgular bildirilmektedir. Hastaya yeni alınan ve tüm satış öncesi testlerden geçtiği belirtilen bir cihaz ambalajından çıkartılıp klinik kullanıma başlanıyor; ilk iki hasta belirgin termal zedelenmeye uğruyor. Cihaz kullanımdan kaldırılıyor. Yapılan araştırma sonucunda cihazda elektronik bir hata görülüyor ve cihazın üzerinde okunan değerle uyumlu olmayan maksimum güç değeri (2-3 W/cm²) oluşturduğu bildiriliyor (20). Ekipman doğruluğu hastaya uygulanan dozun doğru, etkin ve güvenli sınırlarda olmasını sağlar. Yüksek dozda uygulama ile doku destrüksiyonu ve kan hücre stazı gelişebilmektedir (22). Ayrıca planlanan dozdan daha düşük dozla uygulama ile tedavinin etkinliği sorgulanır hale gelebilmektedir (20). Elektroterapi Ekipmanların Güvenliği Çalışma Grubu ayrıca karşılaşılan herhangi bir komplikasyonun İngiltere İmtiyazlı Fizik Tedavi Birliği'ne (The Chartered Society of Physiotherapy) bildirilmesi gerektiğini bildirmiştir (26).

Kalibrasyon Ultrasonun Hangi Özelliklerini Değerlendirmelidir?

İntensity (yoğunluk) (W/cm²)=[güç değeri (W) / etkin ışınım alanı (cm²)] formülüyle hesaplanır. Ultrason probunun etkin ısı yayan alanı (ERA) fabrika kayıtlarından alınır. Son yıllarda ultrason makinelerinin dijital ve multifonksiyonel olmasıyla beraber güç çıktıları doğruluğunun araştırması yetersizlikler içermektedir. Frekans ve puls (devamlı-kesikli) gibi özellikleri içeren ultrason doğruluk çalışmaları yoktur. Güç çıktıları ve zaman ayarlayıcılar test edilmiştir. Kalibrasyon değerlerine etki eden faktörler olarak cihazın yaşı, firma, sık kullanılan watt ve frekansın etkisi araştırılmıştır. Güç ölçüm doğruluğu testleri 492 ölçümün 291'inde ($\%59$) önerilen $\pm\%20$ değerinin üzerinde saptanmıştır. Onüç cihaz ($\%20,3$) uygulanan tüm testlerde doğru olmayan sonuçlar vermiştir. Buna karşılık sadece üç cihaz ($\%4,7$) tüm testlerde doğru sonuç vermiştir (22). Benzer şekilde hastanemizde de bir yıl sonra rekalkibrasyon için gönderilen 10 cihazdan birinde çalışmayan cihaz olgusu ile karşılaşmıştı.

Starritt ve Duck (33), özellikle geçici ve uzaysal akustik yoğunluğun (SATA) ultrason kalibrasyonunda değerlendirilmesi gerektiğini bildirmiştir.

Pye and Milford (28), Lothian Bölgesinde 85 ultrason cihazını değerlendirip, yetersiz kalibrasyon değerleri bildirmiştir. Test edilen makinelerin $\%69$ 'unda güç çıktıları beklenen değerlerin $\pm\%30$ 'undan fazla sapma göstermiştir. Tedavi cihazlarının yaşı 10-12 yıl üzeri olarak belirtilmiştir.

Daniel (34) çalışmasında, 15 yıldan uzun süre kullanılan cihazlarda hata oranında artış saptamıştır. Cihaz yaşı arttıkça doğruluğu azalmaktadır. Bu veriler fizik tedavi kliniklerinde her iki hastadan birinin planlayıcının belirlediği dozdan farklı bir doz aldığı ortaya koymaktadır. Buradaki temel tartışma aslında ultrason uygulamalarında bir çok parametrenin olması ve bu parametrelere uygun kalibrasyon yöntemlerinin şu an için bulunmamasıdır (35).

Kalibrasyonda Kullanılan Yöntemler Nelerdir?

Ultrason ışınları çok basit cihazlardan komplike cihazlara kadar farklı cihazlar ile değerlendirilmektedir. Guirro (36) inefektif teda-

viyi, kullanıcılar arasında metroloji (ağırlıkların ve uzunlukların bilimsel incelenmesi) kültürünün olmamasına ve ayrıca sadece sınırlı sayıda veriyi ölçecek cihazın varlığına bağlamaktadır. Ayrıca bu tür işlemlerde henüz bir standardizasyon oluşmamıştır.

Schlieren Metodu: Işık ve ses arasındaki ilişkiyi tanımlayan bir görüntüleme tekniğidir. Ultrasonik dalgaların su içerisinde yol açtığı farklı dansite varyasyonları bir kamera tarafından kayıtlanır. Cihazın kısıtlılığı tek boyutlu değer vermesidir. İlgili çalışmada tedavi alanındaki tahmini terapötik doz bildiriminde uzaysal ortalama yoğunluk (SAI) değerinin kullanılması gerektiğini bildirmektedir (35).

Termografi: Kollmann, ultrason cihazlarının enerji çıktı performanslarında üç temel faktörü tanımlamıştır. Bunlar sırasıyla uygulanan voltaj amplitüdü, farklı doku seviyelerinin özellikleri ve elektrik enerjisinin mekanik enerjiye çevirim sürecinin etkinliğidir. Cihazın etkinliği için önemsedığı yukarıdaki üç parametreyi son uygulama noktasında termografi cihazı ile tetkik etmiştir. Kollmann, termografiiyi tedavi edici ultrasonun kalibrasyonunda alternatif bir yöntem olarak önermiştir (11).

Hidrofon: Bir tür dijital osiloskoptur. Bu sensitif cihaz ultrason dalgaları tarafından üretilen basınçtaki anlık değişimleri saptar. Hidrofon probun akustik ışınımını taramaktadır ve relatif olarak etkin ışınım alan (ERA) dağılım analizini yapmaktadır (6). İngiltere'de uygulayıcılar ultrason değerlendirmesinde uzaysal ortalama yoğunluğu (SAI) kullanır; probun ortalama yoğunluk değeridir, elde edilen gücün etkin ışınım alanına bölünmesi ile elde edilir. Probu etkin ışınım alanı daha önce de tanımlandığı gibi üretici tarafından belirlenir, laboratuvarında hidrofon kullanılarak tespit edilir.

Su veya Yağ Kabarcığı: Uygulayıcılara cihazlarını test edip etmedikleri sorulduğunda, sıklıkla uygulayıcılar probun üzerine 1 cc kadar su ya da yağ koyduklarını ve watt arttırıldığında hava kabarcıklarının görülmesi cihazın çalıştığını gösterdiği, şeklinde bir metod izlediklerini belirtmektedirler. Hatta bu uygulama ile diğer cihazlar arasında kabaca mukayese yapılabilmektedir (37).

Termometrik Isı Ölçer: Semi kantitatif olarak çıkış gücünü göstermektedir. Absorbe eden materyele ilişik termometre ile materyeldeki ısı artışı ölçülür (33).

Kalorimetre Cihazları: Tahmini olarak çıktı gücünü, ultrasonun akustik enerjisini ısı enerjisine çevirerek çalışan kalorimetre cihazlarıdır. Kalorimetre kesin güç çıktısını vermemekle birlikte ultrason başlığının devamlı ve düzenli çıktı teminini sağlar. Düzenek ucuzdur ve tek cihazlı sağlık merkezlerinde kullanılabilir. Ultrason cihazının frekans türlerinden sadece biri, örneğin 1 MHz değerlendirilecek ise test 3-5 dakika sürer. Kalorimetre daha önce söylendiği gibi uygulayıcıya basitçe ultrason cihazının performansı hakkında bilgi vermektedir (38). Ek önerilerde kullanıcının haftalık basit kalorimetre ya da su denge testi yapması önerilmektedir. Ayrıca medikal fizikçiler tarafından uygun metod ve protokollerin araştırılması gerektiği bildirilmektedir (21).

Watt Ölçer: Su ile oluşturulmuş bir ortamda ışınım kuvveti ölçülerek ultrason güç çıktısı hakkında bilgi sahibi olunur. Dönüştürücü koni vasıtası ile ultrason enerjisi etkin ışınım alanına (ERA) bölünerek hesaplanır. Artho (12) yaptığı çalışmada, ultrason cihazlarını kalibre etmek amacıyla Bio-Tek Digital Ultrasound watt ölçer (model UW-2) kullandı. Trakya Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi Kalibrasyon Ünitesinde aynı firmanın (model UW 4/5) modeli kullanılmaktadır.

Ferrari (39) yaptığı çalışmada, özellikle ultrasonik alan konusunda büyük sapmalar olduğunu belirtmiştir. Bu çalışmada özellikle ışınımın santralize olmaktan çok bazen apekte bifurkasyon oluşturduğu saptanmıştır.

İngiltere'nin çoğu bölgesinde güç ölçüm cihazları konusunda spesifik bir kalibrasyon programı yoktur. Çoğu yerde kalibrasyon için cihaz servise gönderilir ve geri teslim edildiğinde nasıl test edildiğine dair hiçbir yazılı belge yoktur. Bazı parametrelerin özellikle uygulayıcı ile birlikte değerlendirilmesi (ışınım kuvvet dengesi) ve bilgi verilmesi gerekmektedir. Ayrıca yapılan kalibrasyon işlemlerinin 6 ya da 12 aylık periyotlar halinde, tüm veriler kayıtlanarak cihazda ortaya çıkabilecek değişimlerin önceden saptanması ve bu şekilde zaman kayıplarının önlenmesi gerekmektedir (38).

Sonuç

Tüm bu değerlendirmeler ışığında şu sonuçlara ulaştığımızı söyleyebiliriz;

1. Tedavi edici ultrason cihazlarının uygun sınırlarda güç çıktısı verip vermediği uygulayıcılar tarafından bilinen bir konu değildir. Çalışmalar, fizik tedavi ve rehabilitasyon kliniklerinde her iki hastadan birinin planlayıcının belirlediği dozdan farklı bir doz aldığı ortaya koymaktadır.

2. Tedavi edici cihazların düzenli kontrol edilmemiş olması etkinlik araştıran çalışmaların güvenilirliği konusunda şüpheler uyandırmaktadır. Sorun sadece doğru çıktı elde edilmesi değildir; farklı parametrelerin tedavi üzerine olan etkinliğinin de doğru bir şekilde araştırılması gerekmektedir.

3. Ultrason uygulayıcılarının ultrasonun endikasyon, kontrendikasyon, doz ve uygulama yöntemleri, ultrasonun biyolojik ve fizik yönlerini içeren yapılandırılmış kurslardan düzenli olarak yararlanmaları gerekmektedir. Kalibrasyon farkındalığının arttırılması, fizyoterapi eğitimi veren kuruluşların eğitim süreçlerinin içerisine mutlaka kalibrasyon çalışmalarının girmesi gerekmektedir. Ayrıca uygulayıcılar için her beş yılda bir mezuniyet sonrası revizyon kursları düzenlenmelidir.

4. Cihazların düzenli olarak teknik servislerce denetlenmesi, kayıtlarının ve kalibrasyon verilerinin izlenmesi gerekmektedir. Cihaz alımlarında kalibrasyon sertifikası istenmelidir. Ayrıca kalibrasyonu gerçekleştiren cihazların da her yıl kalibre edilmeleri gerektiği görüşü bildirilmektedir.

5. Temel tartışma ultrason uygulamalarında bir çok parametrenin olması ve bu parametrelere yönelik kalibrasyon yöntemlerinin şu an için olmamasıdır. Bu yönde araştırmaların artması ve kliniklerde basit uygulanabilir yöntemlerin belirlenmesi gerekmektedir.

6. Sadece ultrason cihazları için değil fizik tedavi ve rehabilitasyon alanında kullanılan diğer cihazların da yıllık kalibrasyon ihtiyaçları olduğu unutulmamalıdır.

Kaynaklar

1. Cameron MH. Ultrasound. In: Cameron MH, editor. Physical agents in rehabilitation from research to practice. 2nd ed. St Louis, CN: Saunders Company; 2003. p. 185-216.
2. Yurtkuran M, Nasırcılar A. Fizik Tedavi Yöntemleri. In: Braddom RL, editor. In: Saridoğan M, çeviri editörü. Ankara, CN: Güneş Kitabevi; 2010. p. 459-78.
3. Shaw A, Hodnett M. Calibration and measurement issues for therapeutic ultrasound. Ultrasonics 2008;48:234-52.
4. Speed CA. Therapeutic ultrasound in soft tissue lesions. Rheumatology (Oxford) 2001;40:1331-6.
5. Robertson VJ, Baker KG. A review of therapeutic ultrasound: effectiveness studies. Phys Ther 2001;81:1339-50.

6. Draper DO, Prentice WE. Therapeutic ultrasound. In: Prentice WE, editor. Therapeutic modalities in rehabilitation. New York, CN: McGraw-Hill Publishing; 2005. p. 360-406.
7. Ziskin MC. Fundamental physics of ultrasound and its propagation in tissue. *Radiographics* 1993;13:705-9.
8. Alvarenga AV, Costa-Félix RPB. Metrological aspects on therapeutic ultrasound parameters: effective radiating area and non-uniformity ration. *Physics Procedia* 2010;3:643-9.
9. Johns LD, Straub SJ, Howard SM. Variability in effective radiating area and output power of new ultrasound transducers at 3 MHz. *J Athl Train* 2007;42:22-8.
10. Baker KG, Robertson VJ, Duck FA. A review of therapeutic ultrasound: biophysical effects. *Phys Ther* 2001;81:1351-8.
11. Kollmann C, Vacariu G, Schuhfried O, Fialka-Moser V, Bergmann H. Variations in the output power and surface heating effects of transducers in therapeutic ultrasound. *Arch Phys Med Rehabil* 2005;86:1318-24.
12. Artho PA, Thyne JG, Warring BP, Willis CD, Brismée JM, Latman NS. A calibration study of therapeutic ultrasound units. *Phys Ther* 2002;82:257-63.
13. Zeqiri B. Calibration and safety of physiotherapy ultrasound equipment. *Physiother* 1997;83:559-60.
14. Balmaseda MT, Fatehi MT, Koozekanani SH, Lee AL. Ultrasound therapy: a comparative study of different coupling media. *Arch Phys Med Rehabil* 1986;67:147-50.
15. Casarotto RA, Adamowski JC, Fallopa F, Bacanelli F. Coupling agents in therapeutic ultrasound: acoustic and thermal behavior. *Arch Phys Med Rehabil* 2004;85:162-5.
16. Guirro R, Serrriio F, Elias D, Bucalon AJ. Calibration of therapeutic ultrasound equipment. *Physiother* 1997;183:419-22.
17. Nyborg WL. Biological effects of ultrasound: development of safety guidelines. *Ultrasound Med Biol* 2001;27:301-33.
18. <http://www.tse.org.tr/Turkish/kalibrasyon/kalibrasyon.asp>
19. Binici İ. Endüstriyel ölçme ve kalibrasyon. İstanbul: Birsen Yayınevi; 2001.
20. Pye S. Ultrasound therapy equipment: does it perform? *Physiother* 1996;82:39-44.
21. McCabe M, Pye S. Therapeutic ultrasound: risk associated with poor calibration. *Physiother* 1997;83:228.
22. Schabrun S, Walker H, Chipchase L. How accurate are therapeutic ultrasound machines? *Hong Kong Physiother J* 2008;26:39-44.
23. Nacitarhan V, Elden H, Kisa M, Kaptanoğlu E, Nacitarhan S. The effects of therapeutic ultrasound on heart rate variability: A placebo controlled trial. *Ultrasound Med Biol* 2005;31:643-8.
24. ter Haar G, Dyson M, Oakley EM. The use of ultrasound by physiotherapists in Britain, 1985. *Ultrasound Med Biol* 1987;13:659-63.
25. Rivest M, Quirion-de Girardi C, Seaborne D, Lambert J. Evaluation of therapeutic ultrasound devices: performance stability over 44 weeks of clinical use. *Physiother Can* 1987;39:77-86.
26. The Chartered Society of Physiotherapy. Safety of electrotherapy equipment working group guide lines for the safe use of ultrasound therapy equipment. *Physiother* 1990;176:683-4.
27. Hussey R. Ultrasound device calibration. *Phys Ther* 2002;82:1144-5.
28. Pye SD, Milford C. The performance of ultrasound physiotherapy machines in Lothian region, Scotland, 1992. *Ultrasound Med Biol* 1994;20:347-59.
29. Lloyd JJ, Evans JA. A calibration survey of physiotherapy ultrasound equipment in North Wales. *Physiother* 1988;74:56-61.
30. Hekkenberg R, Oosterbaan W, Beekun WV. Evaluation of ultrasound therapy devices. *Physiother* 1986;76:390-4.
31. Docker M. A review of instrumentation available for therapeutic ultrasound. *Physiother* 1987;73:154-5.
32. Dyson M. Mechanisms involved in therapeutic ultrasound. *Physiother* 1987;73:116-20.
33. Starritt HC, Duck FA. A comparison of ultrasound exposure in therapy and pulsed doppler fields. *Br J Radiol* 1992;65:557-63.
34. Daniel DM, Rupert RL. Calibration and electrical safety status of therapeutic ultrasound used by chiropractic physicians. *J Manipulative Physiol Ther* 2003;26:171-5.
35. Johns LD, Straub SJ, Howard SM. Analysis of effective radiating area, power, intensity, and field characteristics of ultrasound transducers. *Arch Phys Med Rehabil* 2007;88:124-9.
36. Guirro R, Britshcy Dos Santos SC. Evaluation of the acoustic intensity of new ultrasound therapy equipment. *Ultrasonics* 2002;39:553-7.
37. Breyer B, Devciç B. A simple device for checking the acoustic beam of ultrasonic therapy equipment. *Ultrasonics* 1984;22:285-6.
38. Pye S, Hildersley K, Somer E, Munro V. A simple calorimeter for monitoring the output power of ultrasound therapy machines. *Physiother* 1994;180:219-23.
39. Ferrari CB, Andrade MA, Adamowski JC, Guirro RR. Ultrasonics evaluation of therapeutic ultrasound equipments performance. *Ultrasonics* 2010;50:704-9.