

TANISAL ULTRASONUN YUMUŞAK DOKUDA OLUŞTURDUĞU GEÇİCİ SICAKLIK ARTIŞININ ETKİLERİ

İrfan KARAGÖZ, Mustafa Kemal KARTAL

*Gazi Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Maltepe-Ankara.
irfankaragoz@gazi.edu.tr, mkkartal@gmail.com

Özet: Bu çalışmada, tanıya yönelik ultrason dalgasının yumuşak doku üzerinde oluşturduğu sıcaklık artışı (ΔT) ile yumuşak doku termal indeks (TIS) değerleri karşılaştırılmıştır. TIS'in ultrasonun neden olduğu ısınma için makul bir gösterge olarak geçerliliğini değerlendirmek amacıyla farklı frekans, güç ve ultrason uygulama koşulları için $\Delta T/TIS$ oranları hesaplanmıştır. Artık sıcaklık artışının (ASA) bulunmadığı durumlarda $\Delta T/TIS$ 1.90'a eşit iken, ASA'nın varlığında $\Delta T/TIS$ oranı 2.88'e eşit olmaktadır. Dokuda önceki ultrason dalgası tarafından oluşturulan ASA bulunmuyorken TIS'in olası biyoetiklerle ilgili olarak kullanıcıyı uyardığı ($TIS < 1.0$) durumda $\Delta T_{max} = 1.68^\circ C$ olmasına rağmen, ASA'nın varlığında TIS'in olası biyoetiklerle ilgili olarak kullanıcıyı uyardığı durumda ise $\Delta T_{max} = 2.62^\circ C$ olmaktadır. Bu çalışma ASA'nın varlığında, yumuşak doku durağan mod ultrason dalgasına maruz kaldığında, TIS'in termal etkilerle ilgili olarak güvenilir bir gösterge olmadığını göstermektedir. Bu sonuçlar güvenilir bir göstergenin, TIS formülüne uygulama zaman bileşeninin ilâve edilmesiyle elde edileceğini göstermektedir.

1. Giriş

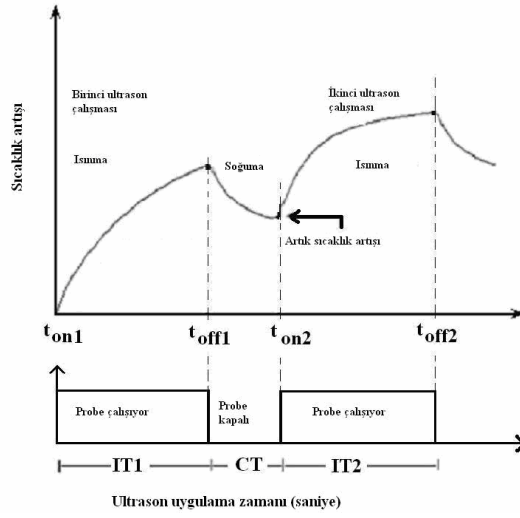
Taniya yönelik ultrason ile kalp, karaciğer, böbrek, vb. iç organlar ile ilgili önemli bilgiler elde edilmektedir [1]. Ultrason ayrıca tedaviye yönelik amaçlar için de kullanılmaktadır. Belirli uygulama şartları altında ultrasonun bazı olumsuz biyolojik etkiler meydana getirdiği bilinmektedir [1,2]. Ultrasonun neden olduğu bu olumsuz etkiler akustik enerji, ultrason modu (taramalı veya durağan), odağın konumu, dalga şekli, ultrasona maruz kalan dokunun akustik ve ısı özelliklerine bağlıdır [3]. Ultrasonun mekanik ve termal etki olmak üzere iki farklı biyolojik etkisi olmasına rağmen, bu çalışmada sadece termal etki tartışılacaktır.

Ultrason dalgasının muhtemel olumsuz etkileri ile ilgili çok sayıda bilimsel çalışma yapılmıştır. İlk olarak Food and Drug Administration (FDA) teşhise yönelik ultrason donanımı için düzenleme yapmıştır. FDA bu donanımların ekranında gerçek zamanlı olarak gösterilmek için termal ve mekanik indeks standardı (Output Display Standard) oluşturmuştur [4,5]. Bu standard, herhangi bir uygulama koşuluna yönelik olarak muhtemel mekanik ve termal etkilerin değerlendirilmesi için iki biyofiziksel indeksin (termal ve mekanik indeks) kullanımını gerektirir. TI (termal indeks) ve MI (mekanik indeks) sırasıyla termal ve mekanik etkilerden kaynaklanan biyoetiklerin bir göstergesi olarak seçilmiştir. TI ve MI, doğrudan sıcaklık artışının ve kavitasyonun bir ölçüsü değildir. Klinik uygulamada, ultrasonun termal etkilerinin göstergesi olan termal indeks, kullanıcının ALARA ('as low as reasonably achievable') prensibini doğru bir şekilde uygulamasını sağlamak için, gerçek zamanlı olarak ultrason cihazının ekranında gösterilmektedir. TI 1'den büyük olduğu sürece donanım ekranında gösterilir ve kullanıcı olası termal etkilere karşı uyarılmaktadır. Yumuşak doku termal indeksi (TIS), kemik termal indeksi (TIB) ve kafatası kemiği termal indeksi (TIC) olmak üzere 3 tip termal indeks bulunmaktadır. TIS yumuşak doku modelini esas almaktadır. Bu model, Doppler ve M-mod gibi durağan mod için iki farklı prob açıklık büyüklük ($A_{aprt} \leq 1 \text{ cm}^2$ ve $A_{aprt} > 1 \text{ cm}^2$) modunu, renkli akış haritalaması ve B-mod gibi taramalı modu kapsar. Durağan mod ultrason çalışması için ($A_{aprt} \leq 1 \text{ cm}^2$ iken) TIS aşağıda verilen formüller hesaplanmaktadır [4,5].

$$TIS = \frac{Wf}{210} \quad (1)$$

Burada W akustik gücü, f ise frekansı göstermektedir. Yapılan deneysel ve teorik çalışmalar, ikinci ultrason incelemesi esnasında birinci ultrason çalışması tarafından oluşturulan sıcaklık artışının dokuda artık sıcaklık olarak davrandığını ve bu artık sıcaklığın ikinci ultrason çalışmasının meydana getirdiği sıcaklık artışı ile birleşerek, dokuda beklenenden daha yüksek sıcaklık artışına neden olduğu göstermiştir [6]. Teşhise yönelik bir ultrason çalışmasında artık sıcaklık artışının nasıl olduğu Şekil 1'de gösterilmektedir. Birinci ultrason çalışmasına başlandıktan (t_{on1}) sonra dokuda sıcaklık artışı meydana gelmektedir. t_{off1} anında ultrason probu kapatılır. Probu kapatılmasından sonra dokudaki sıcaklık artışı sıfıra doğru azalmaktadır. Dokudaki sıcaklık artışı tam olarak sıfıra inmeden ikinci bir ultrason çalışmasına başlanırsa (t_{on2} anında), dokudaki mevcut sıcaklık

bir ASA gibi davranır ve ikinci ultrason dalgasının oluşturduğu sıcaklık artışı ile birleşerek beklenenden daha yüksek sıcaklık artışına neden olur.



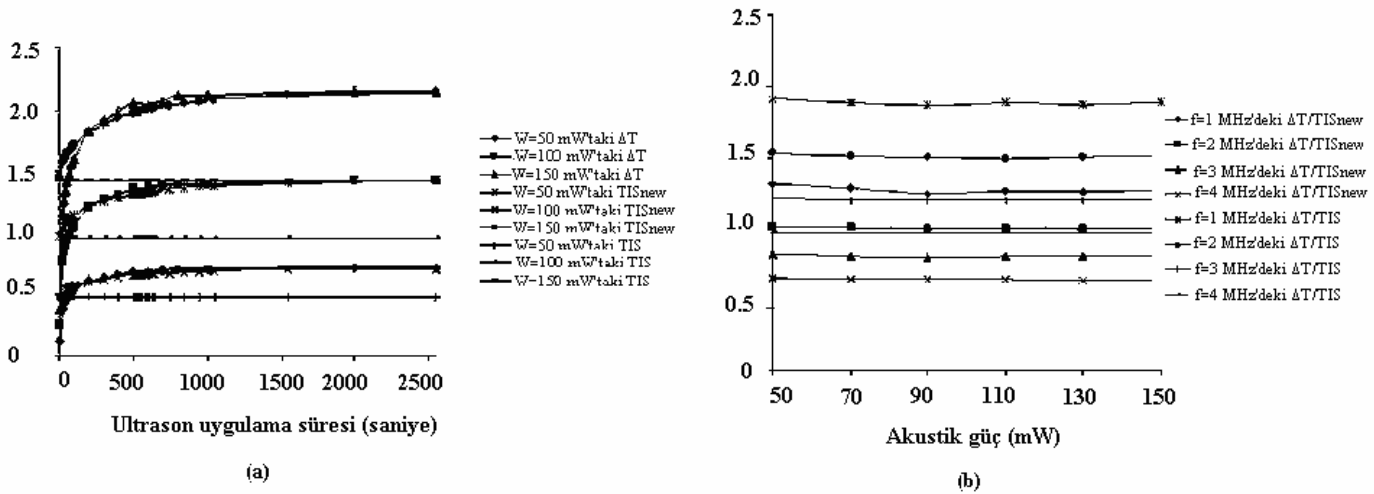
Şekil 1. Ultrason çalışması esnasında ASA'nın oluşması. IT1 ve IT2 sırasıyla birinci ve ikinci ultrason çalışması sürelerini, CT ise bu iki ultrason çalışması arasındaki soğuma süresini gösterir.

TIS'in ultrason dalgasının neden olduğu ısınma için makul bir gösterge olarak geçerliliğini değerlendirmek amacıyla yapılan çalışmalarda, artık sıcaklık artışının etkisi göz ardı edilmiştir. ASA'nın etkisi göz önünde bulundurularak yapılan teorik çalışma, dokuda yüksek ASA'nın bulunması durumunda TIS'in makul bir gösterge olmadığı tespit edilmiş ve yüksek sıcaklık artış değerlerinde bile TIS kullanıcıyı uyarılmamaktadır. Mevcut TIS formülüne ultrason uygulama zamanının ilâve edilmesiyle daha makul bir göstergenin elde edileceği sonucu çıkarılmıştır [7]. Mevcut TIS formülüne ultrason uygulama zamanının eklenmesi ile elde edilen yeni yumuşak doku termal indeksi aşağıda gösterilmektedir.

$$TIS_{new} = \frac{Wf}{210} \left[1 + 0.5 \operatorname{erf} \left(\sqrt{\frac{t}{\tau}} \right) \right] \quad (2)$$

2. ASA'nın olmadığı durumlardaki TIS_{new} formülünün değerlendirilmesi

ASA'nın bulunmadığı durumlarda TIS_{new} formülünün değerlendirilmesi için farklı frekans ve güç değerleri kullanılarak ΔT , TIS_{new} ve $\Delta T/TIS_{new}$ hesaplamaları yapılmıştır.



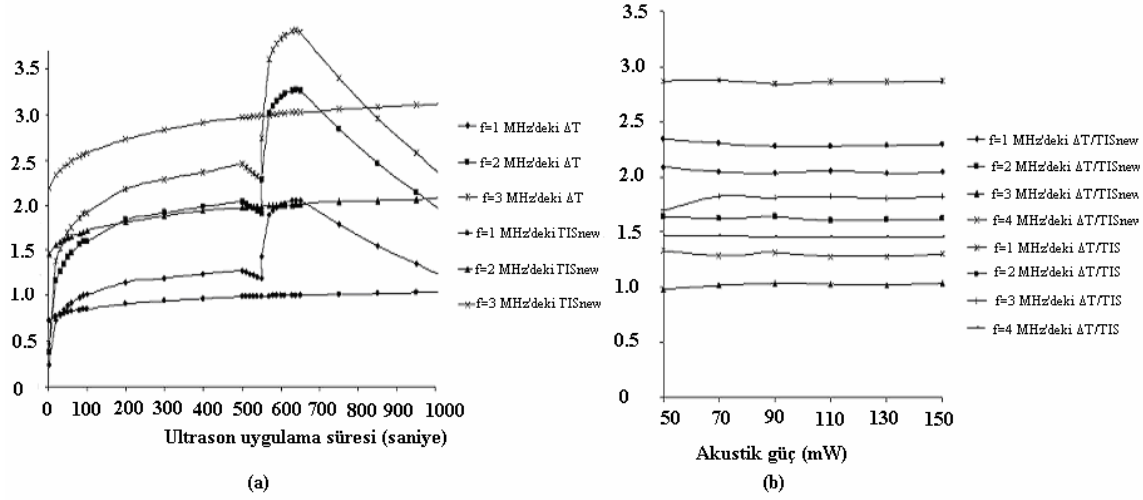
Şekil 2. (a) $f=2$ MHz iken, akustik güç ve uygulama zamanının fonksiyonu olarak ΔT , TIS_{new} ve TIS değerleri. (b) Frekans ve akustik güce bağlı olarak elde edilen en yüksek $\Delta T/TIS_{new}$ ve $\Delta T/TIS$ değerleri

ΔT ve TIS_{new} değerleri en iyi şekilde $f=2$ MHz'te uyuşmaktadır (Şekil 2 a ve 2 b). $f=2$ MHz'ten uzaklaşıldıkça ΔT ve TIS_{new} değerleri arasındaki bu uyuşma bozulmaktadır. Maksimum ve minimum $\Delta T/TIS_{new}$ oranları 1.31-

0.43 (band genişliği=0.89) arasında değişmekte iken maksimum ve minimum $\Delta T/TIS$ oranları daha geniş bir banttaki (1.92-0.64=1.28) bir aralıkta değer almaktadır.

3. ASA'nın bulunduğu durumlardaki TIS_{new} formülünün değerlendirilmesi

ASA'nın bulunduğu durumlarda TIS_{new} formülünün değerlendirilmesi için farklı frekans, güç değerleri, IT1, IT2 ve CT kullanılarak ΔT , TIS_{new} ve $\Delta T_{max}/TIS_{new}$ hesaplamaları yapılmıştır.



Şekil 4. (a) $W=150$ mW, $IT1=500$ saniye, $IT2=100$ saniye ve $CT=50$ saniye iken, frekans ve uygulama süresine bağlı olarak elde edilen ΔT ve TIS_{new} değerleri. (b) $IT1=500$ saniye, $IT2=100$ saniye ve $CT=50$ saniye iken frekans ve akustik güce bağlı olarak elde edilen $\Delta T_{max}/TIS_{new}$ ve $\Delta T_{max}/TIS$ değerleri

150 saniyelik ultrason uygulamasından sonra TIS_{new} ve ΔT arasında iyi bir uyuma söz konusudur. TIS_{new} değerleri TIS değerlerine göre ΔT için daha iyi bir yaklaşım sağlamaktadır (Şekil 4 a ve 4 b). $IT1=500$ saniye, $IT2=100$ saniye ve $CT=50$ saniye iken ΔT_{max} değeri ile TIS_{new} değeri $f=3$ MHz'te uyuşmaktadır. Maksimum ve minimum $\Delta T_{max}/TIS_{new}$ oranları 2.05-0.69 (band genişliği=1.36) arasında değişmekte iken maksimum ve minimum $\Delta T_{max}/TIS$ oranları daha geniş bir banttaki (2.88-0.99=1.89) bir aralıkta değer almaktadır.

4. Sonuç

ASA'nın bulunduğu ve bulunmadığı her iki durumda da TIS_{new} formülünün kullanılmasıyla daha dar sıcaklık artışı/yumuşak doku indeks oranları aralığı elde edilmiştir. Ayrıca ASA'nın bulunmadığı durumda $TIS < 1.0$ (kullanıcı uyarılmıyorken) olduğunda ΔT_{max} 1.68 °C 'a eşit olmakta, TIS_{new} 1.0'den küçük olduğunda 1.25 °C'luk bir sıcaklık artışı elde edilmektedir. ASA'nın bulunduğu durumda ise $TIS < 1.0$ durumunda ΔT_{max} 2.60 °C'a eşit olmakta, TIS_{new} 1.0'den küçük olduğunda ise 1.60 °C'luk bir sıcaklık artışı elde edilmektedir. Bu sonuçlar TIS_{new} formülünün mevcut TIS formülünden daha güvenilir bir gösterge olduğunu göstermektedir.

Kaynaklar

- [1]. Wells PNT., "Ultrasonic imaging of the human body," Rep Prog Phys, 62, s.671-722, 1999.
- [2]. Ziskin MC ve Barnett SB., "Ultrasound and the developing central nervous system," Ultrasound Med Biol, 27,s.875-876, 2001.
- [3]. Barnett SB., Haar GRT, Ziskin MC, Rott HD, Duck FA ve Maeda K., "International recommendations and Guidelines for the safe use of diagnostic ultrasound in medicine," Ultrasound Med Bio,23, s. 355-366, 2000.
- [4]. AIUM/NEMA (American Institute of Ultrasound in Medicine and National Electrical Manufacturers Association). ODS. Standard for real-time display of thermal and mechanical indices on diagnostic ultrasound equipment. Laurel, MD and Rosslyn, VA: AIUM/NEMA, 1992.
- [5] AIUM/NEMA (American Institute of Ultrasound in Medicine and National Electrical Manufacturers Association). ODS. Standard for the real-time display of thermal and mechanical acoustic output indices on diagnostic ultrasound equipment, Rev 1. Laurel, MD and Rosslyn, VA: AIUM/NEMA, 1998b.
- [6] Karagoz I., Kartal MK. The effects of residual temperature rise on ultrasound heating. Ultrasound Med Biol 2005;31:1665-1672.
- [7] Karagoz I., Kartal MK. Evaluation of non-scanned mode soft-tissue thermal index in the presence of the residual temperature rise. Ultrasound Med Biol 2006;32:741-750.