

MÜHENDİSLİK YAKLAŞIMIYLA TERMOREGÜLASYON

Nevin ÇELİK*

*Fırat Üniversitesi, Mekatronik
Mühendisliği Bölümü, Elazığ,
nevincelik23@gmail.com*

Yılmaz BAYAZIT

*University of Minnesota, Department of
Mechanical Engineering, MN 55445
Minneapolis USA*

ÖZET

Bu çalışma, insan vücudunda ısı transferi şekilleri, vücut sıcaklığının dış ortama karşı tepkimesi (termoregülasyon), vücut iç sıcaklığının ölçülmesi ve anormal sıcaklık değişimi durumunda alınacak teknik önlemler konusunda bilgilendirmeyi amaçlamaktadır. Çalışmada insan vücudundaki anormal sıcaklık değişimiyle ortaya çıkan rahatsızlıklar (ör. hipotermi, hipertermi) ve bu rahatsızlıkları önlemenin yolları hakkında açıklayıcı bilgiler derlenmiştir. Çalışma, biyotransfer ve termoregülasyon konularında çalışma yapmakta olan araştırmacılar için temel bilgilerin sunumu mahiyetinde olup, insan vücudunu modellemeyi amaçlayan mühendislik araştırmalarına rehber olması ümit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Termoregülasyon, biyotransfer, hipotermi, biyomühendislik

Thermoregulation, an Engineering Approach

ABSTRACT

This paper aims to present technical information about the heat transfer mechanisms in human body, reaction of the human body temperature to the environment (thermoregulation), measurement of the body core temperature, and the action to be taken as the body temperature changes abnormally. Detailed information about the diseases due to abnormal temperature changes in the human body (i.e., hypothermia, hyperthermia) and about methods to prevent these diseases are reviewed. This paper is a presentation of fundamental information on bioheat transfer and thermoregulation for the interested researchers, and it is hoped to be a guide for engineering researches which aim to simulate human body.

Keywords : Thermoregulation, bioheat transfer, hypothermia, bioengineering

* İletişim yazarı

Geliş tarihi : 01.02.2010

Kabul tarihi : 22.04.2010

GİRİŞ

İnsan vücudunun dış çevreye karşı verdiği sıcaklık tepkisi, termoregülasyon sistemi olarak adlandırılır. Söz konusu tepkiler başta hipotermi ve hipertermi olmak üzere aşırı terleme, titreme, damar genişlemesi ya da kasılması gibi durumların biri ya da birkaçının birlikte veya ayrı ayrı cereyan etmesiyle oluşan değişimlerdir. İnsanların sıcağa ve soğuğa verdikleri tepkiyi ölçmek, maruz kalınan sıcaklığın riskini tahmin etmek ve akabinde koruyucu tedbirler almak tıp dünyasının olduğu kadar mühendislik dünyasının da meselesidir [1].

Konuyla ilgili olarak bugüne kadar deneysel ve sayısal sonuçlara dayalı, ısı dengesini hesaplayan, vücut sıcaklığını artırıcı nedenleri ve sıcaklığı düşürmenin yöntemlerini tanıtan birçok çalışma sunulmuştur [2-8]. Bu çalışmalarda insan vücudunun çeşitli şartlar altındaki durumu dikkate alınarak modellemeler yapılmış, söz konusu şartların termoregülasyon üzerindeki etkileri incelenmiştir.

İnsan vücudunun modellenmesinde çoğu zaman hastalıkların tedavisi amacı güdülmüştür [9,10]. Özellikle ısı terapi yöntemiyle tedavi edilen hastalıklarda biyoısı modeli oluşturulmaktadır. İlk kez Pennes [11] tarafından geliştirilen biyoısı modeli daha sonra birçok araştırmacı tarafından geliştirilerek çeşitli hastalıkların tedavisine katkıda bulunmuştur. Bu modellerin regl sancıları [12-14], kanser [15-17] ve prostat [18-21] gibi hastalıkların tedavisine yardımcı olduğu izlenmiştir.

İNSAN VÜCUDUNDA ISI TRANSFERİ

İnsan vücudu, yaşamının devamını sağlamak için belirli bir sıcaklık seviyesinde gerçekleşen çeşitli kimyasal tepkimelere gereksinim duyar. İnsan sıcakkanlı bir canlıdır ve bu kimyasal reaksiyonların gerçekleşebilmesi ve mekanik vücut hareketlerinin devamlılığı için - beden ısısının belirli bir seviyede olması şarttır. Fiziksel aktivite sırasında bedenın artan enerji gereksinmelerine yanıt verebilmek için vücudun metabolizma hızı artar ve bu beden ısısının yükselmesine neden olur. Optimum performans gösteren bir bedende vücutta oluşan kimyasal tepkimelerin açığa çıkardığı enerjinin yaklaşık %30'u mekanik, geri kalan %70'lik kısmı da ısı enerjisine dönüşür. Bununla birlikte, ortam sıcaklığının yüksek olması durumunda, gereksinim duyulandan daha fazla ısı bedende toplanabilir [22].

İnsanlarda vücut sıcaklığının oldukça küçük bir tolerans dahilinde (36.9 ± 0.5 °C) tutulması için sürekli olarak kontrol edilmesi gerektiği ifade edilmektedir. Fonksiyonlarını uygun değer düzeyinde sürdürmek ve dolayısıyla canlılığını korumak için insan vücudu kendisine zarar verecek düzeydeki sıcaklıktan kurtulmanın bir yolunu bulmak zorundadır. Bu durum ısı homeostasisi (dengesi) olarak

tanımlanır. Sıcaklığın bu sınırlar içerisinde tutulmasındaki esas neden vücut fonksiyonlarının bağımlı olduğu pek çok biyokimyasal ve hücresel işlemlerin verimli ve doğru olarak gerçekleşmesinin ancak bu dar sıcaklık aralığında mümkün olmasıdır [17].

Yaşayan bir vücut metabolik reaksiyonlarla ısı üretir. Üretilen bu ısı ya depolanır veya deri yüzeyine doğru kemikler, dokular, yağ ve deri vasıtasıyla iletimle ve kan dolaşımı vasıtasıyla taşınım ile transfer edilir. Isı transferi ayrıca geniş atardamarlar, geniş toplardamarlar ve doku arasındaki sıcaklık farklılıklarından da meydana gelir. Deri yüzeyinden ısı geçişi dört değişik şekilde gerçekleşir. Bunlar taşınım, radyasyon, buharlaşma ve iletimdir. Solunum sistemi de transferin küçük bir kısmını gerçekleştirir. Metabolik reaksiyonlar sonucunda üretilen ısı, deri yüzeyinden çevreye transfer edilen ısı tarafından dengelenmezse vücut sıcaklığı artar veya azalır [23].

Deri yüzeyine olan ısı geçişi kemikler, dokular, yağ ve deriye olan iletim yoluyla ve kan dolaşımını içeren ısı taşınım yoluyla gerçekleşir. Büyük sıcaklık gradyanları mevcut olduğunda, ısı transferi geniş atardamarlar ve toplardamarlarla dokular arasında da meydana gelebilir. Taşınım ile olan ısı transferi vücut içerisindeki sıcaklık farklarını efektif olarak minimize ettiği için, bu taşınım mekanizmasının vücudun ısı yapısında çok önemli bir etkisi vardır [24].

Herhangi bir sebeple vücut ısısı arttığında, yukarıda bahsedilen yöntemler kullanılarak (ışınım, iletim, taşınım ve buharlaşma) düşürülür. Isı, vücut yüzeyinden %45'i ışınlama, %40'ı taşınım ve %7'si de iletimle aktarılır. Terlemenin ısı kaybındaki etkisi yok denecek kadar azdır [25]. Bu yöntemleri tanımlamadan önce hemen belirtmelidir ki ısı kaybının yanı sıra bu yöntemler aynı zamanda vücuda ısı da kazandırır [26]. Vücuttan dış yüzeye oluşan ışınlama ısı geçişi vücut sıcaklığına bağlı olarak değişir. Eğer vücut yüzeyi çevredeki çeşitli yüzeylerden daha sıcaksa o zaman vücuttan kaybedilen net ısı yüzeyler arasındaki sıcaklık farklılıklarına bağlı olarak değişir. Vücuttan iletimle ısı geçişi, vücudun daha soğuk ya da daha sıcak bir cisimle direkt temas etmesi durumunda oluşan ısı kazancı ya da kaybıdır, taşınım ise havanın ya da suyun vücuda yakın alanda hareket etmesiyle ortaya çıkan ısı geçişi şeklidir [27].

İşinım ile ısı kaybında ısı vücuttan kızıl ötesi ışınları ile ortama aktarılır. Örneğin anestezi altındaki bir insan vücudunda ısı kayıplarının %60'ı bu yolla olur. İletimle ısı geçişinde farklı sıcaklığa sahip iki cisim arasındaki ısı değişimi olup anestezi altında hastadan ameliyat masası, minder, battaniye ve hasta ile temasta olan diğer cisimlere bu yolla ısı geçişi olabilir. Hasta çevresindeki hava hareketi ile ısı geçişi ise taşınım ile olur. Ortamdaki hava hareketi ne kadar fazla ise bu yolla kayıp

o kadar fazla olurken aksi durumda kayıp minimaldir (örneğin, bir kuvöz içinde hava akımı olmadığı için bu yolla kayıp minimaldir). Cilt ve akciğerden buharlaşma ile sıvı kaybedilirken 0.5 kcal/gH₂O ısı harcanır. 5 lt/dk taze gaz akımı kullanılan bir sistemde, ısı kaybı saatte 7 kcal olabilir. Bu kayıp çocukluk ve özellikle yeni doğan bebeklik döneminde çok önem kazanır. Kuvöz havası veya solunum gazlarının nemlendirilmesi ile buharlaşmanın azaltılması vücut ısısının korunmasını sağlamaktadır [22, 26].

VÜCUT SICAKLIĞININ TESPİTİ

İnsan vücudunda sıcaklık ölçümü yapmak için çeşitli sıcaklık ölçer cihazlardan yararlanılabilir. Cıvalı termometreler, termistörler, ısılıçiftler, kızıl ötesi termometreler (dış kulak yoluna yerleştirilen prob aracılığıyla kulak zarından vücut ısısı ölçülebilir), sıvı kristal termometreler (cilt yüzey sıcaklığını ölçme amaçlı) kullanılır [22, 25, 28].

Sıcaklık ölçümü vücut üzerinden birçok farklı yöntemle gerçekleştirilir. Kulaktan (timpanik membran), burun arka kısmından (nasofarinks), makattan (rektal yoldan), koltuk altından, yemek borusundan (ösafagus), mesaneden, direkt ağızdan veya dilaltından (oral veya sinlingual) ölçüm yapılabilir. Kulaktan yapılan ölçümler iç ısıyı yansıtır. Bu ölçümlerde kulak zarı yırtılması ihtimali en önemli dezavantajdır. Burun iç kısımlarındaki sıcaklık iç ısının iyi bir göstergesidir. Ancak burna sokulan problemler burun kanamasına neden olabilir. Makattan alınan ölçüm iç ısıdaki değişimleri daha geç yansıtır. Burada da makat yırtılması ihtimali vardır. Koltuk altı sıcaklığı ile vücut iç sıcaklığı arasındaki fark değişkendir.

VÜCUT SICAKLIĞININ DEĞİŞMESİ DURUMU ve MÜHENDİSLİK YAKLAŞIMIYLA ALINABİLECEK ÖNLEMLER

Ne vücut sıcaklığının aşırı düşmesi (hipotermi) ne de aşırı artması (hipertermi) istenilen durumlar değildir. Hipertermi, çevresel faktörler nedeniyle, içinde bulunulan ortam ısısının artmasıyla vücut ısısının yükselmesidir. Hipertermi, vücut sıcaklığının 41°C veya daha yüksek bir değere yükseldiğinde ortaya çıkan ve termoregülatör mekanizmaların bozulmasına, sıcak çarpmasına yol açabilen bir durumdur. Hipertermi yüksek ateşten farklıdır çünkü ateş yükselmesinde termoregülasyon bozulmuştur ve kişi üşüdüğünü hisseder yorgan üstüne yorgan ister hipertermide ise termoregülatör merkez ile ilgili bir problem yoktur çevre ısısı veya diğer fizyolojik nedenlerden (egzersiz vs.) dolayı vücut sıcaklığı artmıştır ve kişi bunun farkındadır soğuk bir şeyler ister. Hipertermiyi önlemede teknik-mühendislik çözüm yollarından daha ziyade tıbbi müdahaleler söz konusudur.

Sıcaklığın aşırı düşmesi hali olan Hipotermi ise özellikle

ameliyatlarda hastaya uygulanan anestezi ilaçlarından dolayı ameliyata girmeden önce ve çıktıktan sonra görülür. Daha tıbbi bir yaklaşımla vücut sıcaklığının 36 °C altında olması hipotermi olarak adlandırılır. Hafif hipotermi (30 °C), orta hipotermi (30-25° C), derin hipotermi (25 °C'den az) olarak derecelere ayrılır [25]. Hipotermi, ısı rahatsızlıklar, kanın pıhtılaşmasında bozukluklar, hasta vücudunda yara enfeksiyonlarına karşı mücadele zayıflığı gibi ciddi sorunlara yol açmaktadır. Hatta kalp ve solunum yetersizliği, merkezi sinir sisteminde hasar, böbrek fonksiyonlarında, kaslarda, metabolik yapıda, endokrin sistemde bozukluk ve felçlik vs. gibi ciddi etkiler oluşur [27].

Hipotermiden dolayı metabolik yapıda oluşan bozukluklar ciddi sorunlar çıkarabilir. Metabolik hız, her bir °C'lik sıcaklık düşüşünde %7-8 oranında azalır, oksijen tüketimi ve CO₂ üretimi azalır, dokulara O₂ bırakılması zorlaşır, erimiş haldeki O₂ miktarı artar, Ayrıca, karaciğer ve böbrek fonksiyonları etkilenir. Hipotermiden dolayı insan vücudunda merkezi sinir sisteminde oluşan tahribat daha da risklidir. Her bir °C'lik sıcaklık düşüşü ile beyin kan akımı %6-7 azalır. Sinir-kas kavşağında oluşan değişiklikler de son derece ciddi sonuçlar doğurabilir. Hipotermi böbrek fonksiyonunda bozukluklara neden olabilir. Böbrek kan akımı giderek azalır ve 20 °C'de normalin %10'una düşer. Hipotermi birtakım endokrinolojik değişikliklerine sebebiyet verir. Özellikle adrenalin salınımı artar, insülin salınımı azalır, hipotermi uzun süre devam ederse kortizon salgılanması azalır [22].

İnsanlarda termoregülasyon merkezi hipotalamustur. Soğuk ortamda titreme kas aktivitesinde artma, açlık hissi ile gıda alınması ve adrenalin benzeri maddeler düzeyinde artış ısı yapımını artırırken örtünme ve kıvrılma ısı kaybını azaltır. Sıcak ortamlarda ise cilt damarlarının genişlemesi, terleme ve solunumun hızlanması ısı kaybını artırırken, iştahsızlık, hareketlerde yavaşlama, TSH salgılanmasında azalma ısı üretimini azaltır. Soğukla uyarılan refleksler arka hipofiz, sıcak ile uyarılanlar ise ön hipofiz tarafından kontrol edilir. Ön bölüm lezyonlarında hipertermi, arka bölüm lezyonlarında poikilotermi (çevre şartlarına uygun vücut ısısının sağlanamaması) görülür [8, 22].

İnsan vücudunda ısı kaybı oluşması en çok ameliyatlarda görülen bir durumdur ve bunun birçok nedeni vardır. Ameliyathanelerdeki düşük ortam sıcaklığı, hasta üzerindeki örtünün yalıtımlı olmaması, hasta vücudunun soğuk uçucu solüsyonlarla ameliyata hazırlanması ve hastanın üzerinde açılan kesiklerden ısı kaybı oluşması gibi birçok nedenden kaynaklanabilir. Bir de hastaya verilen anestezinin ameliyat esnasında vücut sıcaklık dengesini kontrol etmeyi zorlaştırması eklenince problem daha da ciddi hâle gelmektedir [27].

Ameliyatın kendisiyle alakalı olmasa da, vücudu soğuk

şartlara tepki gösteren böylece hipotermi rahatsızlığı baş gösteren hastalar için vücut sıcaklığını dengelemek ciddi bir meseledir. Hatta bazen tam aksi bir durumda hipertermik olan bir hastanın vücut sıcaklığını düşürmek için tıbbi müdahale gerekebilir ki bu da iç organlara zarar verebilir. Bu nedenlerden dolayı, hasta vücudunu ameliyat süresince ve ameliyattan sonra sıcak tutmaya çalışmak gerekir. Bebekler, yeni doğanlar ve yaşlılar hipotermi için özellikle risk altındadırlar. Bebeklerde ve yaşlılarda termoregülasyon için hipotalamus tam gelişmemiş olması, bebeklerde vücut yüzeyi / ağırlığı oranının fazla olması, Titreme mekanizmalarının iyi gelişmemiş olması hipotermiye eğilimin artış sebepleridir.

Hasta vücudundan kaybedilen ısının en aza indirilmesi için bazı teknik çalışmalar yapılmıştır [28-32]. Damardan verilen sıvılarla kanın ısıtılması, yanık ve geniş yara yüzeylerinin yıkanmasında ılık solusyonların kullanılması, solunum yoluyla alınan gazların ısıtılıp nemlendirilmesi birkaç yöntem olarak sayılabilir. Bunların dışında sık olarak hastanın üzerine önceden ısıtılmış battaniye örtülmesi yöntemi kullanılır [28]. Bu yöntem ucuz ve basit uygulanabilir bir yöntem olmasına rağmen uzun süren ameliyatlarda ısınmış battaniyenin kısa sürede soğuyarak etkisini kaybetmesi en önemli dezavantajdır. Isıtılmış suyun battaniye üzerinde dolaştırılması ikinci bir yöntem olarak uygulanmıştır ki; bu yöntemde de battaniyenin su kütlesi yüzünden ağırlaşması ve ısıtma için ayrıca bir enerji tüketilmesi ciddi sıkıntı doğurmuştur. Ayrıca suyun sürekli devir daimi sıhhi olmayan bir uygulamadır.

Diğer bir yöntem ameliyathanelerin ortam sıcaklığının artırılmasıdır. Ya da en azından hastaya yakın alanda bulunan ışıkların gücünü arttırarak daha fazla ısı yaymasını sağlamaktır. Ancak giyinik olan ameliyathane ekibinin bu ısınmadan dolayı rahatsız olmaları ameliyatı gerçekleştirmelerine engel olabilmektedir.

Son bir uygulama olarak, içerisinde sıcak hava geçirilen battaniler kullanılmıştır. Bu yöntemde iki kat olarak dikilen battaniyenin bir ucundan fan yardımıyla sıcak hava gönderilir [28]. İçi sıcak havayla doldurulan battaniye balon şeklinde şişerek toplanmaktadır. Şişen örtünün hastanın üstünü tam olarak kaplaması zorlaşır, bu tür battanilerdeki en önemli dezavantaj bu şişme durumudur. Battaniye örtüsünü dilim dilim hazırlamakla bu şişmenin daha düzenli bir dağılımı sağlanmaya çalışılır. Ancak bu sefer de battaniyenin boyutu küçülmüş olur. Bu tarz battanilerde battaniyenin hastayla temas halindeki yüzeyine delikler açılır. Bu deliklerden hastanın vücuduna sürekli sıcak hava gönderilir. Hava sıcaklığı bir termostatla ayarlanarak vücut sıcaklığına eşit değerde hava gönderilmesi sağlanır. Diğer bir dezavantajı battaniyenin altından sızan sıcak havanın ameliyathane ortamına yayılmasıdır. Bu da ameliyatı gerçekleştiren ekibin konforunu bozacağından klimalar daha yüksek ayarda

çalıştırılır. Bu yöntemde cilt yanıklarına neden olmamak için battaniye sıcaklığı vücut sıcaklığından en çok 1-2 °C fazla olabilir. Periferik kan akımının azaldığı durumlarda yanık olasılığı daha fazladır. Özellikle yeni doğan bebeklerde oda sıcaklığının ayarlanması ısı kaybının önlenmesinde en etkili yöntemdir.

Hipotermi kontrolünde titreme ile artan oksijen gereksinimi karşılanmalı ve titreme önlenmelidir. Titreme ısıyı yükselten bir mekanizma olmakla birlikte aşırı olduğunda kardiovasküler problemler, yarada ayrılma gibi sakıncaları vardır. Titremenin durdurulmasında ikinci bir yol hastanın lamba (~250 W) ile ısıtılmasıdır. Ayrıca ilaç kullanımı da yöntemlerden biridir. Yüzey soğutma, evaporasyon veya daldırma yöntemleri ile de sonuç elde edilebilir. Evaporasyon yöntemi ameliyat masasındaki hastanın üzerine yerleştirilen bir soğutucu vantilatör ile vücut yüzeyinden soğuk hava akımı geçirilmesi esasına dayanır. Daha çok küçük çocuklarda uygulanır. Daldırma, daha hızlı ve etkin soğutma yöntemi olup anesteziden sonra hastanın buzlu su dolu bir küvete yerleştirilmesi esasına dayanır. Bu yöntemle 3-5 dk'da 1 °C'lik sıcaklık düşüşü sağlanabilir.

SONUÇLAR

İnsan vücudu esasında bir ısı makinesidir. İçerisinde ısı üretimi ve transferi mekanizmaları gerçekleşir. Bu mekanizmaların tanımlanması tıbbi çözümlerin üretilmesine yardımcı olmaktadır. İnsan vücudundaki ısı mekanizması ile ilgili problemlere sadece tıbbi yaklaşımlarla yönelmek yerine ısı mühendislik gözüyle bakmak ve bu çerçevede çözüm aramak çözüm olasılıklarını da arttırmaktadır. Dolayısıyla dünyada son yılların yükselen mesleklerinden biri de biyomühendislik olmuştur.

Bu çalışmada insan vücudunda oluşan ısı transferi mekanizması, ısı artışı ve düşüşü durumları ve bu durumlarda uygulanabilecek teknik yöntemler özetlenmiştir. Çalışmanın daha ileri boyutlardaki modelleme ve ölçüm tekniği çalışmalarına temel oluşturması ümit edilmiştir.

KAYNAKÇA

1. **Celik, N., Bayazit, Y.** 2008. The Effects of Individual Differences on Thermo-Regulation in Human Body Simulations, Journal of Thermal Science and Technology, 28, 1, 17-22.
2. **Jette, M., Quenneville, J. Thoden, J. and Livingstone, S.** 1995. Reproducibility of Body Temperature Response to Standardized Test Conditions When Assessing Clothing, Ergonomics, 38, 1057-1066.
3. **Havenith, G. and Middendorp, H.** 1990. The relative Influence of Physical Fitness, Acclimatization State, Anthropometric Measures And Gender on Individual Reactions to Heat, European Journal of Applied Physiology, 61, 419-427.

4. **Gagge, A.P., Fobolets, A.P. and Berglund, L.G.** 1986. A standard Predictive Index of Human Response to The Thermal Environment, ASHRAE Trans., 92, 709-731.
5. **Havenith, G.** 2001. Individualized Model of Human Thermoregulation For The Simulation of Heat Stress Response, Journal of Applied Physiology, 90, 1943-1954.
6. **Tikuisis, P., Gonzales, R.R. and Pandolf, K.B.** 1988. Thermoregulatory Model For Immersion of Humans In Cold Water, Journal of Applied Physiology, 64(2), 719-727.
7. **Wolf, M.B. and Garner, R.P.** 1997. Simulation Of Human Thermoregulation During Water Immersion: Application to an Aircraft Cabin Water-Spray System, Annals of Biomedical Engineering, 25(4), 620-634.
8. **Abraham, J.P. and Sparrow, E.M.** A Thermal-Ablation Bioheat Model Including Liquid-to-Vapor Phase Change, Pressure- And Necrosis-dependent Perfusion, and Moisture-Dependent Properties, International Journal of Heat and Mass Transfer, 50 (2007) 2537-2544
9. **Short, J. G. ve Turner, P. F.** 1990. Physical Hyperthermia and Cancer Therapy, Proceedings of the IEEE, Vol. 68, No. 1, 133-142.
10. **Hahn, G.M.** 1984. Hyperthermia for the Engineer: A Short Biological Primer, IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 31(1), 3-8.
11. **H. Pennes,** 1948. Analysis of Tissue and Arterial Blood Temperatures in The Resting Human Forearm, J. Appl. Physiol. 85, 5-34.
12. **Baldwin, S., Pelman, A. Bert, J.** 2001. A Heat Transfer Model of Thermal balloon endometrial ablation, Ann. Biomed. Eng. 29, 1009-1018.
13. **Persson, B., Friberg, B., Olsrud, J., Rioseco, J., Ahlgren, M.** 1998. Numerical Calculations of Temperature Distributions Resulting From Intracavity Heating of the Uterus, Gyn. Endoscopy, 7 203-209.
14. **Reinders, D., Baldwin, S., Bert, J.** 2003. Endometrial Thermal Balloon Ablation Using a High Temperature, Pulsed System: A Mathematical Model, J. Biomech. Eng., 125, 841-851.
15. **He, X. Bischof, J.** 2003. Quantification of Temperature and Injury Response in Thermal Therapy and Cryosurgery, Crit. Rev. Biomed. Eng., 31, 355-421.
16. **He, X., Megee, S., Coads, J., Schmidlin, F., Iazzo, P., Swanlund, D., Kluge, S., Rudie E., Bischof, J.** 2004. Investigation of The Thermal and Tissue Injury Behavior In Microwave Thermal Therapy Using A Porcine Kidney Model, Int. J. Hyperthermia 20, 567-593.
17. **Tunç, M., Çamdalı, U. ve Çıkrıkçı S.** 2004. Tıpta Biyoyısı Uygulaması, Mühendis ve Makina, 534, Temmuz.
18. **Liu, J. Zhu, L. Xu, L.** 2000. Studies On The Three-dimensional Temperature Transients In The Canine Prostate During Transurethral Microwave Thermal Therapy, J. Biomech. Eng., 122, 372-379.
19. **L. Xu, L. Zhu, K. Holmes,** 1998. Blood Perfusion Measurements in The Canine Prostate During Transurethral Hyperthermia, Ann. New York Acad. Sci. 858, 21-29.
20. **D. Yuan, J. Valvano, E. Rudie, L. Xu,** 1995. 2D Finite Difference Modeling of Microwave Heating In The Prostate, HTD 322/BED 32, in: Advances in Heat and Mass Transfer in Biotechnology, American Society of Mechanical Engineers, New York.
21. **J. Zhang, G. Sandison, J. Murthy, L. Xu,** 2005. Numerical Simulation For Heat Transfer In Prostate Cancer Cryosurgery, J. Biomech. Eng. 127, 279-293.
22. URL: <http://www.itfanestezi.org/notlar/isiregulasyonu.htm> (28/01/2010)
23. **Shitzer, A.** 1973. Addendum to "A Review on Mathematical Models of the Human Thermal System", IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 20 (1), 65-66.
24. **Ketter, R. L., ve Prawel, S. P.** 1989. Modern Methods of Engineering Computation, McGraw-Hill Co. New York, USA.
25. **Emery, A. F., Short, R. E., Guy, A. W., Kraning, K. K.** 1976. The Numerical Simulation of the Human Body When Undergoing Exercise or Nonionizing Electromagnetic Irradiation, ASME Journal of Heat Transfer, 98(5), 284-291.
26. **Widmaier, E.P., Raff, H. and Strang, K.T.** 2006. Vander's Human Physiology, 10th edition, McGraw-Hill Co. New York, USA.
27. **Papay, F.A. Budac, S.** 2004. Blanket system for temperature regulation of a patient, Patent Report no: 680-0087.
28. **Bayazit Y. and Sparrow E.M.** Energy efficiency comparison of forced-air versus resistance heating devices for perioperative hypothermia, Energy, 2010 (article in press, doi:10.1016/j.energy.2009.09.026).
29. **Sessler, D.I. and Todd, M.** 2000. Perioperative heat balance, Anesthesiology, 92 (2), 578-96.
30. **Brock, L.** 2005. The Importance Of Environmental Conditions, Especially Temperature, In The Operating Room And In The Intensive Care Ward, British Journal of Surgery, 62(4), 253-8.
31. **Jerran, L.** 2001. Patient temperature: an introduction to the clinical guideline for the prevention of unplanned perioperative hypothermia, Journal of Perianesthesia Nursing, 16 (5), 303-304.
32. **Tan J.M., Macario A.** 2008. How to evaluate whether a new technology in the operating room is cost-effective from society's viewpoint, Anesthesia Clinics, 26(4), 745-64.