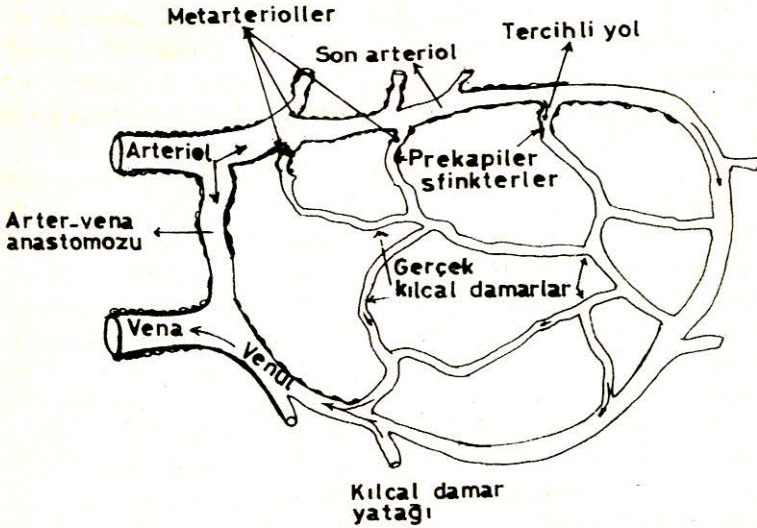


Kılcal Dolaşım, Lenf ve Ödem

Baki YILMAZ *

Kılcal kan damarları arteriol ile venül arasında bulunur (Şekil 1). Arteriol önce metarteriol'lere ayrılır. Metarterioller de duvarlarında sürekli bir katman halinde olmayan düz kas tellerini içerirler. Metarteriollerden çıkan her gerçek kılcal damarın başlangıcında düz kas tellerinin çevrelediği bir prekapiler (kılcal damar öncesi) sfinkter bulunur. Bu sfinkterin gevşemesi ya da büzülmesi kılcal damarlardaki kan akımını denetler^{3,19,20}.



Şekil 1. Son damar yatağı (Smith ve Hamlin'den)

* Doç. Dr., A.Ü. Vet. Fak. Fizyoloji Bilim Dalı Ankara / TURKEY

Metarteriol ile venül arasında tercihli ya da geçit kanal vardır. Buna "arterio-venöz kılcal köprü" de denilmektedir. Bu arteriel ve venöz dolaşım arasındaki doğrudan doğruya ilişkiyi sağlar. Bazı yerlerde, örneğin, insanlarda el ayası, parmaklar ve kulak memesinde arteriol ve venülü, kılcal damarları atlayarak direkt olarak birleştiren arteriol venül ağzlaşması (anastomozu) denilen kısa kanallar vardır. Bu ağzlaşmaların kalın kassal bir duvarı bulunur ve çok miktarda damar büzücü (vazokonstriktör) sinir telleri ile sinirlendirildiği sanılmaktadır ³.

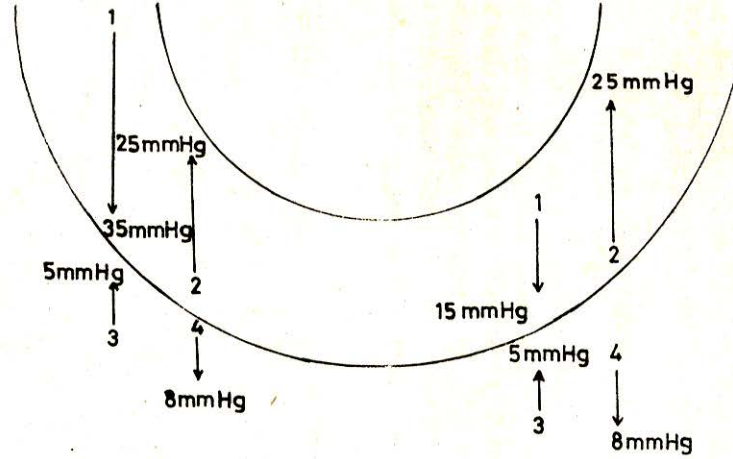
Kapalı bir sistem içinde dolaşan kan, doku hücreleri ile direkt olarak değidedir. Madde alım verimi, (O_2 , Na^+ , Ca^{++} , glikoz gibi maddelerin alınması, CO_2 , H_2O vb. artık maddelerden kurtulma) kılcal damarların yarı geçirici duvarları ile hücrelerarası boşluk arasında oluşur. Bu nedenle atar ve toplardamarlardan geçen kanın bileşimi değişmez. Buna karşın kılcal damarlarda kimyasal ve fiziksel özellikleri değişir. Dışarı atma kapıları kılcallarında kanın bozulan bileşimi tekrar düzeltilir ¹⁸.

Kılcal damarlar 10-15 μ çapında ve en çok 1 mm. boyundadır. İki kattan oluşmuşlardır ve duvarlarının kalınlığı sadece 0,1-0,5 μ . kadardır. İç kesimde yassı epitellerden yapılmış endotel hücreleri katı ve dışta çok ince bağ doku yer alır. Bu kat üzerinde yer yer perisit (rouget) hücreleri vardır. Bunlar kasılıp gevşeyerek damarların daralıp genişlemelerini sağlarlar. Endotel hücreleri yağlar (lipid) ve yağ benzeri (lipoidlerden) yapıldıklarından, yağlarda çözünen O_2 , CO_2 , alkol ve gaz anestetikler doğrudan doğruya hücre aralıklarından geçer ¹⁸; su ve suda çözülmüş maddeler serbestçe bu duvardan geçemezler. Geçişim yer yer endotel hücreler arasında bulunan ve 80-90 A° çapındaki boşluklardan (porlar) olur ⁹. Küçük olan su molekülleri, suda çözülmüş olan sodyum, klor, glikoz, küçük moleküllü proteinler ve diğer maddeler bu deliklerden difüzyonla geçtikleri halde büyük moleküllü proteinler, koloit parçacıklar ve kan hücreleri geçemezler. Ancak, akyuvarlar diapedez ve büyük moleküllü proteinler, koloidal parçacıklar pinositosis gibi özel olaylarla geçme olanağı bulurlar ^{3, 5, 9, 13, 18}.

Kılcal damarların arteriel ucunda kan basıncı (hidrostatik basınç) insanlarda yaklaşık olarak 35 mm. Hg. ve koloit osmotik basınç (onkotik basınç) 25 mm.Hg. dir. Bunlardan hidrostatik basınç kanı dışarı doğru iten, onkotik basınç da içerde tutan etmenlerdir. Buna karşılık hücrelerarası sıvıda hidrostatik basınç 5 mm.Hg., onkotik basınç 8 mm.Hg. dir. Bu değerlere göre kan sıvısını kılcal damarlardan dışarı iten basınç farkı $35 - 5 = 30$ mm.Hg. ve hücrelerarası sıvıyı kılcal damarlara doğru çeken onkotik basınç farkı ise $25 - 8 = 17$ mm.Hg. dir. Böylece iten ve çeken kuvvetler arasındaki $30 - 17 = 13$ mm.Hg. lik bir net ultrafiltrasyon basıncı sıvının kılcal damarların arteriel ucundan hücrelerarası sıvıya süzülerek geçmesini sağlar. Bu hesaplama $(35 + 8) - (25 + 5) = 43 - 30 = 13$ mm.Hg şeklinde de yapılabilir. Ultrafiltrasyon kılcal damarların arteriel ucunda basınç farkı nedeniyle tek yönlü oluşur. Kılcal damarların venöz ucunda durum ve basınç farkı tersinedir (Şekil 2). Burada damarlar içerisinde hidrostatik basınç düşer (15 mm.Hg) ve onkotik basınç ise değişmez (25 mm.Hg). Hücrelerarası sıvı basıncı 5 mm.Hg., hücrelerarası sıvı onkotik basıncı 8 mm.Hg. dir. Etkili hidrostatik basınç $15 - 5 = 10$ mm.Hg., etkili onkotik basınç $25 - 8 = 17$ mm.Hg. dir. Geri emilme gücü $17 - 10 = 7$ mm.Hg. ya da başka şekilde hesaplanırsa yine $(25 + 5) - (15 + 8) = 30 - 23 = 7$ mm.Hg. dir.

Kılcal damarın arteriel ucu

Kılcal damarın venöz ucu



1. Hidrostatik basınç 35mmHg
 2. Plazma onkotik basınç 25mmHg
 3. Hücrelerarası sıvı basıncı 5mmHg
 4. Hücrelerarası sıvı onkotik basıncı 8mmHg
- Etkili hidrostatik basınç $35-5=30$ mmHg
Etkili onkotik basınç $25-8=17$ mmHg
Ultrafiltrasyon gücü $30-17=13$ mmHg

- 1 Hidrostatik basınç 15mmHg
 - 2 Plazma onkotik basıncı 25mmHg
 - 3 Hücrelerarası sıvı basıncı 5mmHg
 - 4 Hücrelerarası sıvı onkotik basıncı 8mmHg
- Etkili hidrostatik basınç $15-5=10$ mmHg
Etkili onkotik basınç $25-8=17$ mmHg
Emme gücü $17-10=7$ mmHg

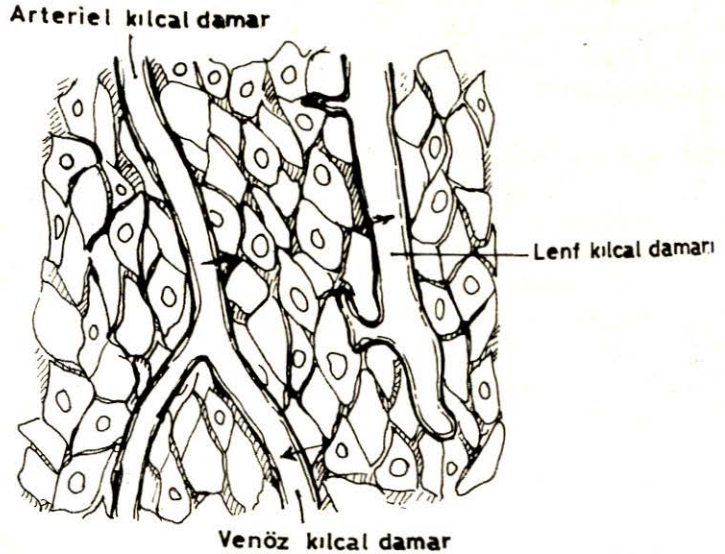
Şekil 2. Kılcal damarlar ve hücrelerarası sıvı basınçları

Buna bağılı olarak hücrelerarası geçmiş olan sıvı kılcal damarların venöz ucundan difüzyonla kana geri döner. Difüzyon, kanda ve hücrelerarası sıvıdaki moleküllerin derişim farkı nedeniyle her iki yönde oluşmaktadır^{3,5,7,8,9,10,12,13,14,15,18,22,24}. Buna bağılı olarak sıvı akışı hücrelerarası boşluktan, kılcal damarlara doğru olur. Çeşitli koşullar altında net ultrafiltrasyon basıncı değiştiği gibi kılcal damarların arteriel ucundaki prekapiler sifinkterler kan basıncını ve damarlara giren çıkan kan miktarını ayarlarlar (şekil 1)^{3,9,18,19,20}.

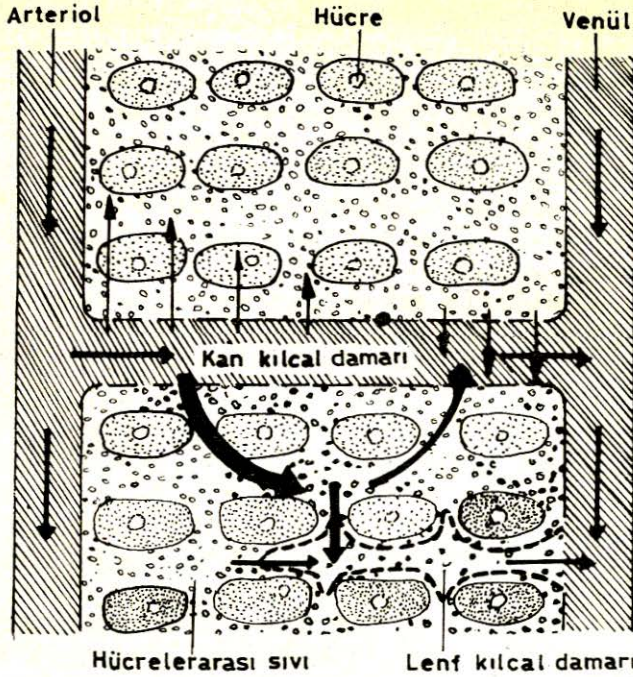
Kılcal damarların arteriel ucundan ultrafiltrasyon ile hücrelerarasına kandan süzölen su ve suda özönen maddelerin tümü, kılcal venalardan tekrar kan dolaşımına dönemezler. Bu maddelerden bir bölümü, özellikle büyük moleküllü proteinler, koloidal parçacıklar lenf damarlarına girerek lenfi oluştururlar. Böylece hücrelerle kan damarları arasındaki eksik kalan bağlantı hücreler ve hücrelerarası boşluklarda bulunan hücrelerarası sıvı ve lenf dolaşımı yardımıyla sağlanır^{10,14,18,21,22}.

AKKAN (LENF) VE DOLAşIMI

Bir canlıda en küçük birim hücredir. Bu nedenle organizmada her türlü hizmetin hücreler düzeyinde yapılması gerekir. Fakat, bedende bulunan hücrelerin bir çoğu kılcal damarlarla doğrudan değide değildir. Aralarında, içi hücrelerarası sıvı ile dolu boşluklar bulunur (şekil 3,4). Lenf damarları, hücreler ve hücrelerarasındaki bu boşluktan başlar. Böylece hücrelerle, kan damarları arasında eksik kalan bağlantı lenf dolaşımı yardımıyla tamamlanmış olur. Lenfle, gerekli olan maddeler hü-



şekil 3. Kan ve lenf kılcal damarlarının hücrelerarası boşlukla ilişkisi (Horn'dan)



Şekil 4. Kılcal damarlarda ultrafiltrasyon (Spörrî'den)

relere verildiği gibi, artık maddeler de alınır ^{4.6.9}. Kılcal damarların arteriel uçlarından hücrelerarasına sızülen sıvı ve suda çözünen maddelerin tümü, kılcal damarların venöz ucundan tekrar kan dolaşımına dönmezler. Bir miktarı, özellikle proteinli maddelerin 1/10'u hücrelerarası sıvıda kalarak birikir ve hücrelerin gereksinimleri olan protein buradan sağlanır. Geri kalan bölümü çok ince lenf damarlarına (akdamar) girerek, diğer koloit maddelerle birlikte akkanı oluştururlar. Lenf akımıyla hücrelerarası sıvı boşaltılarak, aşırı ölçüde sıvı birikmesi önlenmiş olur. Ayrıca, salya bezleri ve testislerde olduğu gibi lenf, salgı yapan hücreler için gerekli olan maddeleri sağlayan bir depo durumundadır. Göz korneasında ve katılgan dokuda, lenf damarları besin maddelerini dağıtma görevini de yapar. Lenf sistemi rezorpsiyonla da ilgilidir. Sindirim kanalı dışında (parenteral olarak), derialtı, kasiçi ve damarıçi yolla organizmaya giren maddeler lenf yoluyla emilir. Bağırsak ve mezenter yakınında bulunan kilüs (chylus) damarları akkan sisteminin yağ sindirimiyle görevli özel bir bölümdür. Akkan dolaşımının önemli bir görevi de hücrelerarası sıvı proteinini ayarlamaktır ^{1.2.5.6.11.17.18.21}.

Akkanın Bileşimi

Lenf de kan gibi plazma denilen sıvı kesimle, şekilli elementlerden yapılmıştır. Kan hücrelerinden büyük bir bölümü lenfositlerdir. Ayrıca az sayıda monosit rastlanır. Geçici olarak alyuvar ve eozinofil de bulunabilir. Lenf, kokusuz ve renksiz duru bir sıvıdır. Fakat yağ damlacıklarından zengin lenf, beyaz renkte ve süt görünümündedir. Viskozitesi 1.22-1.26 dir. Özgül ağırlığı insanda 1.016-1.023, tavşanda 1.011-1.013 dür. Reaksiyonu kandan biraz daha alkalik olmak üzere 7.65-7.92 arasındadır. Lenf ile kan plazması arasında büyük bir benzerlik vardır. Lenf içinde albumin, globulin, fibrinojen gibi proteinli maddeler ve yağlar bulunur. Bunların dışında amino asitler, karbonhidratlar, protein olmayan azotlu maddeler ve metabolitler (üre, kreatinin) lenfin bileşimine girerler. Değişik hayvan türlerinde ve çeşitli lenf damarlarında proteinli maddeler ve yağların miktarı farklıdır^{1.6.21}. Örneğin, köpeğin boyun lenf damarında 100 ml. de 3.63 gr. protein olduğu halde, ductus thoracicus'ta 4 gr. dir. Lenfin bileşim yönünden kan serumundan farkı, lenfde proteinli maddeler daha az, buna karşılık su ve klor biraz daha fazladır. İnsanlarda leğen boşluğunun (pelvis) derin lenf damarlarında 100 ml. de 5.5 gr. proteine karşılık, kan serumunda 7.8 gr. protein bulunur. Lenfin bileşimi açlıkta farklıdır. Sindirimden hemen sonra lenf içinde bulunan yağ damlacıkları artar. Bağırsak ve mezenter lenf damarlarında çok miktarda yağ (kolesterolin, lesitin ve nötral yağlar) bulunur¹⁹.

Yukarıda sayılan maddeler dışında lenf içinde sodyum klorür, sodyum karbonat, kalsiyum, organik ve anorganik fosfor, gazlar, hormonlar, vitaminler ve enzimler vardır. Enzimlerin başlıcaları amilaz, diyastaz, maltaz, proteaz, katalaz ve kolesterolinazdır¹. Lenfin bileşiminde pıhtılaşma için gerekli olan kalsiyum, protrombin ve tromboplastin bulunduğu için lenf de kan gibi pıhtılaşır. Pıhtılaşma yavaş ve pıhtı da yumuşaktır. Su miktarı kan serumundan fazladır ve açlıkta yaklaşık olarak lenfin % 94'ü sudur^{1.6.21}.

Akkan Dügümleri ve Görevleri

Lenf damarlarının yolları üzerine dizilmiş, içlerinde sinüzoid denilen boşluklar bulunan kassal yapıda bezlerdir, bunlara akkan yumruları ve boğumları da denir. Bu düğümlerin organizmanın savunulmasında önemli işlevleri vardır. Boyun, koltuk altı, karın ve kasık olmak üzere bedenın çeşitli bölgelerinde yer almışlardır. Parenteral yolla bedene giren bakteri ve toksinlerin lenf düğümlerinde süzülerek kan dolaşımına geçmeleri önlenir. Bu yolla hücrelerarası sıvı da mikrop ve yabancı cisimlerden arınmış olur. Bakteri ve yabancı cisimleri yakalayarak yokederler. Bu durum Drinker ve çalışma arkadaşlarının köpekler üzerindeki araştırmalarıyla deneysel olarak gösterilmiştir^{1.6}. Popliteal ve iliak lenf düğümlerine, 1 ml. sinde 250 milyon virulan streptokoklu bir çözelti verilmiş, perfüzyondan sonra duktus torasikus'tan toplanan akkan steril bulunmuştur. Lenf düğümlerinin savunma yeteneği virüsler için zayıftır. Bazı kez çok miktarda ve yüksek derecede virulan bakteriler, akkan düğümlerine enfekte ederek bu engeli aşip kana karışırlar ki buna sepsis denir^{1.2.13}.

Akkan düğümleri bir takım bağışıklık maddeleri (antikorlar) yapıp kana vererek organizmanın savunulmasına yardım ederler. Bu işlevlerinden ayrı olarak lenf

düğümleri diğer lenfoit dokularla birlikte lenfosit yapımına katılırlar. Lenfositler, lenf düğümleri içinde bölünerek çoğalırlar ve lenf sıvısına karışırlar. Lenf damarlarının başlangıcında lenfosit sayısı azdır. Düğümleri geçtikten sonra çoğalır. Ne kadar çok düğümden geçerse o oranda hücre sayısı artar ^{1.6.21}. Köpeklerde lenf düğümüne girmemiş olan bacak lenfinin 1 mm³'de 0-2500 lenfosit bulunduğu halde, lenf düğümlerinden geçen boyun lenfinde 2.800-68.600 lenfosit saptanmıştır ⁶. Yüzücü kuşlarda sayısı azdır. Güvercinlerde ve tavuklarda lenf düğümleri bulunmaz. Bu yokluğu karşılamak için kuşlarda kemik iliğinde çok sayıda lenfoit doku düğümçükleri vardır ^{1.3}.

Akkanın Oluşumu

Normal olarak dokularda meydana gelen lenf miktarı, o bölgede kılcal atardamarlardan süzülen sıvı ile toplardamarlardan geri alınan sıvı arasındaki fark kadardır. Kılcal damarlarda kan basıncının artması, lenf miktarını çoğaltır. Toplardamarlarda basıncın artması nedeniyle, kan damarlarında kılcal basınç da yükselir. Lenf oluşumuna etken faktörlerin başında kassal çalışma gelir. Doku etkinliğinin artmasında damar genişlemesi (vazodilation) olur. Buna paralel olarak kılcallarda basınç yükselir, bu da lenf oluşumunu ve akımını artırır. Akım hızı, dinlenme döneminin 3-10 katı çoğalır. Akkan dolaşımının çok önemli bir işlevi de hücrelerarası sıvının protein miktarını düşük bir düzeyde tutmaktır. Öte yandan artan metabolizma sonucu, hücrelerarası sıvı içinde çoğalan metabolitler nedeniyle onkotik basınç, sıvı miktarı ve hücrelerarası sıvı basıncı yükselerek lenf oluşumu hızlanır ^{1.3.5.13.16.18}.

Hücrelerarası sıvıda proteinli maddelerin birikmesi ve onkotik basıncın artması çok miktarda lenf oluşumunun nedenlerindedir. Alçak ısı (5°C dan az) ya da yüksek ısı (45°C dan fazla) kılcal damarlarda geçirgenliği ve ultrafiltrasyonu artırarak lenf miktarını artırır. Ayrıca kılcal etkinliği arttıran oksijen azlığı, kanlanma (hiperemi) ve yangı gibi etmenler lenf miktarını arttırlar ^{1.3}.

Lenf oluşumu süreklidir. Boğada bir günde 20-30 lt., inekte 100 lt. ve atta 25-50 litre olan lenf, köpekte 650 ml. kadardır ⁶. İnsanlarda akkan miktarı dinlenti halinde 1 saatte 100-150 ml. dir ⁵. İnsanda duktus torasikustan bir dakikada ortalama olarak 1 ml. lenf elde edilmiştir. Albumin, pepton, midye ve çilek gibi lenfago maddelerde lenf miktarı, özellikle lenf içindeki proteinli maddeler artar. Şeker ve üre gibi kristaloit maddeler de lenf suyu ve lenfin genel miktarını artırır ^{2.1}.

Akkan Akımı

Lenf damarları önce çok ince kılcal damarlar halinde hücrelerarası boşluktan başlarlar ve kalbe doğru giderler. Çevreden kalbe yaklaştıkça birbirleriyle birleşerek gittikçe büyürler. Sol kesimde ductus thoracicus, sağ kesimde truncus lymphaticus dexter adı verilen iki büyük lenf damarı halinde sol ve sağ köprücük altı toplardamarına (v. subclavia'lara) ve üst ana toplardamara (v. cava superior) dökülürler, kılcal lenf damarları hücrelerarası boşlukta, doku hücrelerini çepeçevre saran ağlar yaparlar. Kılcal kan damarlarının tersine, lenf kılcal damarlarında hücrelerin birleşme yerlerinde geniş aralıklar vardır. Bu nedenle lenf kılcal damarlarının endoteli, kan damarlarından daha geçirgendirler. Nitekim proteinler, çini mürekkebi parçacıkları,

lenf kılcal damar çeperlerini kolayca geçerler. Merkezi sinir sistemi, kemik iliği, dalak pulpası, alveoller ve derinin yüzlek bölümleri dışında bedeninin her kesiminde lenf damarları bulunur ^{6.16}. Lenf damarları yer yer kapakçıklar taşıdıklarından lenf dolaşımı tek yönde olmak üzere çevreden kalbe doğrudur. Lenf akımı sürekli olmadığı gibi, hızı da aynı değildir. Atın beyin lenf damarlarındaki hızı saniyede 24-30 ml. dir. İnsanda yaklaşık olarak kan hızının % 1'ine eşittir ^{1.6.16.18.19}.

Lenf damarlarında basınç düşüktür ve toplardamarlardaki basıncın % 1'i kadardır. Yaklaşık olarak 1.5 mm.Hg. düzeyine denk olan basınç çok değişkendir ve lenf damarlarının başlangıcından toplardamarlara gidildikçe azalır ⁶.

Akkan Akımını Sağlayan Etmenler

1. Basınç farkı. Lenf damarlarının başlangıcı ile dökülmüş oldukları toplardamarlar arasındaki basınç farklıdır. Lenfin meydana geldiği dokularda basıncın daha yüksek olması nedeniyle kalbe doğru bir akım oluşur ¹.

2. Ritmik kasılmalar. Bağırsak villüs'lerinde olduğu gibi lenf damarları çeperinin bir kesiminde düz kas telleri vardır. Bunların ritmik kasılmaları lenfin etkin olarak ileri doğru hareketini sağlar ¹. Lenf damarları yer yer kapakçıklar taşıdıklarından lenf akımı (hareketi) tek yönlüdür.

3. Solunumun etkisi. Soluk almada göğüs kafesinin genişlemesi sonucu göğüs içi (intratorasik) basıncın düşmesi ile toplardamarlarda olduğu gibi lenf damarlarında da bir emme oluşur. Bu sırada kasılan diyafragma da karın organlarını sıkıştırarak lenf damarları üzerine basınç yapar ¹.

4. Kas hareketleri. İskelet kaslarının kasılması, içlerinde ya da çevrelerinde bulunan lenf damarlarını sıkıştırarak lenf akımını sağlar. Buna lenf pompası denir. Lenfin çevreden merkeze doğru hareketini sağlayan da lenf damarları içinde yaklaşık her milimetrede bir bulunan ve tek yönde çalışan (sadece kalbe doğru akışa izin veren) kapakçıklardır. Büyük atardamarların titreşimleri ve bazı durumlarda yer çekimi de, lenf akımına etki yapan faktörlerdir. Masajlarda lenf akımı artırılabilir ^{1.6}.

Akkan kalpleri. İki yaşayışlılar, yani kurbağagiller (amfibiler) ve süringenlerde (reptillerde), kan dolaşım sisteminde olduğu gibi lenf kalpleri vardır. Bu kalplerin büzülmeleriyle lenf akımı sağlanır. Lenf kalpleri kurbağalarda dört adettir ve ikisi omuzların üzerinde (aksillar), diğer ikisi kuyruk sokumu ucunda (sakral bölgede) yer almışlardır. İçlerinde yaklaşık olarak 10 mm³ lenf vardır. Çizgili kaslardan yapılmış lenf kalplerinde özel ganglionlar bulunur ve dakikada 60 kez atarlar ^{1.6}.

ÖDEM

Hücrelerarası sıvının, başka bir deyişle lenfin, hücrelerarasında, özellikle deri-altı dokusunda normalden fazla birikmesine ödem denir ^{1.3.13.14.16.19.21.23}. Ödemlere parmakla basıldığında hamur gibi geçer ve parmak geri çekildiğinde parmağın izi bir süre kalır. Bazen ileri derecedeki ve özellikle enfeksiyonlar ya da vurma-çarpmaya uğramış yangılı bölgelerdeki ödemlere parmakla basınca iz bırakmaz. Bunun nedeni hücrelerarası sıvının pıhtılaşmasıdır. Sıvının toplandığı bölgelere ve bileşimine göre çeşitli adlar alır. Periton içinde olana ascites, plevra boşluğundakine

hidrotoraks, perikart boşluğundakine hidroperikart, beyin boşluklarında birikene hidrocefalus ve tüm vücutta görülen ödeme de anazarka denir. Ödem sıvısının proteini az olana transüdat, proteini çok olana eksüdat adı verilir ^{16.23}.

Ödem oluşumunun nedenleri:

1. Kılcal damarlardaki hidrostatik basıncın artmasına bağlı ödemler: Uzun süre ayakta hareketsiz durmakla toplardamarlardaki durgunluk sonucu toplardamar basıncının çok artması, dolaylı olarak kılcal damarlardaki hidrostatik basıncın da artmasına neden olur. Hidrostatik basıncın artmasıyla çok miktarda kan sıvısı kılcal damar dışına sızar ve venöz uçtan dönen miktardan daha fazla olmaya başlar. Artan sıvı hücreler arasında birikir ve hücre aralıkları genişler. Ayak bileklerinde görülen, bir süre sonra yatmakla geçen ödem böyle oluşur. Büyük toplardamarların tıkanması, bir bölgenin sıkılmasıyla (mekanik ödem), gebe uterusun ya da bir tümörün vena iliyaka'ya basınç yapmasıyla bacakta aynı biçimde oluşan ödem görülür. Karaciğer sirozu ve vena portanın tromboz nedeniyle tıkanması sonucu vena porta dolaşımı bozulur. Periton boşluğunda sıvı birikimine neden olur ve ascites görülür ^{19.23}.

Toplardamarlarda kan akışını güçleştiren, tıkayan ya da arteriollerde genişlemeye neden olan her durum kılcal damarlardaki hidrostatik basıncı artırır. Örneğin kalp yetmezliğine bağlı olarak çok sık görülen ödem de (kardiyak ödem) toplardamar basıncının ve dolaylı olarak kılcal damarlarda hidrostatik basıncın artması ile ilgilidir. Kalp yetmezliğinde diastol sırasında karıncıklara gelen kanın tümü sistolde atılamaz. Normalde 3-4 mm.Hg. olan sağ kulakçık basıncı, 10-20 mm.Hg.'ye kadar yükselir. Toplardamarlarda kan dolaşımı güçleşir ve durgunluk oluşur, sonuç olarak venüller ve kılcal damarlarda hidrostatik basınç artar. Hidrostatik basıncın artmasından başka, kılcal damar dolaşımı da bozulur. Kalbin sistolde attığı kan az olduğundan dokulara gelen oksijen miktarı, dokuların gereksinimlerini karşılayamaz. Oksijen azlığı kılcal damarların geçirgenliğini artırır (hipoksemik damar zedelenmesi). Kalp yetmezliği sonucunda böbrekte dolaşım bozuklukları, tuz ve su tutulması oluşabilir. Diğer yönden, kalp yetmezliğinde böbrek üstü bezi korteksinde aldosteron, arka hipofizde antidiüretik hormon yapımı artar ve böbrek yolu ile sodyum ve su tutulmasına neden olur. Böylece kardiyak ödemin oluşumunda kılcal damarlarda hidrostatik basıncın artması önemli rol oynamakla beraber kılcal damarların geçirgenliğinin artması, su ve tuz tutulması gibi diğer etmenlerin de etkileri vardır ^{8.13.23}.

Kalp yetmezliklerine bağlı ödem bedeninin her yerinde görülür. Dolaşım bozuklukları ilk önce ayak bileklerinden başlar, sonra yavaş yavaş yukarılara doğru ilerler. Bacak üzerine parmakla basılırsa iz kalır. Kalp yetmezliğine bağlı ödem özellikle akciğerlerde belirgindir. Vücut boşluklarında, derialtı dokusu ve tüm organlarda sıvı birikimi görülür. Bu sıvı çok protein içerdiğinden eksüdat yapısındadır ²³. Ruminantlarda, özellikle sığırlarda, retikulumdan gelen yabancı sıvı cismin kalbin zedelenmesine (traumatik perikarditis) neden olarak ödem oluşur ¹³.

2. Kılcal damar endotelinde geçirgenliğin artmasına bağlı ödem: Ödemin en çok görülen nedenlerinden birisi kılcal damar çeperinin geçirgenliğinin artmasıdır. Ürtiker (kurdeşen), yılan ve arı sokmaları, süregen arsenik zehirlenmesi, derialtı ya

da kasiçi yakıcı ilaçların enjekte edilmesi, özellikle yanıklar sonucunda yangı oluşur. Yanık nedeniyle fazla ısınan kılcal damar kolaylıkla bozulabilir hale gelir ve gözenekleri genişler. Böylece kılcal damar çeperi geçirgenliği artar. Bu durumda kan proteinleri bile kolaylıkla hücrelerarası sıvıya sızar. Dolayısıyla sıvının içeriğinde protein derişimi yükseldiğinden hücrelerarası sıvının onkotik basıncı da artar ve çok miktarda suyu hücrelerarasına çeker. Kan ve hücrelerarası sıvı proteinlerinin onkotik basınçları arasındaki fark azalır. Hücrelerarasına geçerek biriken sıvı kılcal damarların venöz ucundan geri dönemez ve böylece yangılara bağlı yerel ve genel ödem oluşur ^{3, 13, 16, 19, 23}.

Allerjide dokulardan histamin açığa çıkar. Histamin damar endotelini yıkıma uğratar, kılcal damarların geçirgenliğini arttırır, arteriollerin duvarındaki düz kas tellerini gevşetir. Ortamda histamin çok fazla ise venülleri de sıkıştırır. Hücreler arasında çok miktarda kan sıvısı sızdığı için yerel ödemler oluşur ve seröz yangı görülebilir. Örneğin, atlarda ve mandalarda anazark'da (morbus maculosus), baş ve karın altında, bacaklarda; ineklerde doğuma yakın ya da doğumu izleyen günlerde memelerde; insanda saman nezlesinde burun mukozasında ödem görülür. Bazı kişiler bazı tozlara karşı duyarlık gösterir. Bu tozların solunumda alınması sonucu akciğerlerde ödem oluşur. Duyarlı olan bir bireyde, deriye protein enjekte edilmesi allerjiye bağlı ödeme neden olur. Urtiker'de olduğu gibi bazen allerji ödemi tüm organizmayı ilgilendirir. Allerji sonucunda oluşan yerel ödem alanlarına urtikaria ya da kurdeşen denir ^{4, 23}.

Çoğu kez belirli bir nedeni olmadan sinirsel bozukluklara bağlı olarak, genellikle, birdenbire yerel ödem oluşur. Sinirlere bağlı (anjionörotik) ödemin oluşması nedeni büyük bir olasılıkla otonom sinir sistemi denetiminin bozulması sonucu arteriol tonusunun yerel olarak azalmasıdır. Bu da kılcal damar geçirgenliğinin artmasına neden olur. Bazen heyecan ve telaş gibi duygusal bozukluk hallerinde gırtlakta (larenkste) bu şekilde bir ödem oluşur ve ses kısılır ²³.

Herhangi bir etken, kılcal damar endotelinin bütünlüğünü bozarsa kılcal damar çok geçirgen duruma gelir. Yangı oluşarak kılcal damarların geçirgen duruma gelmesi enfluenza, meningitis, sepsis ve difteri gibi enfeksiyonlarda; eklampsi, akut yaygın (difüz) glomerülonefrit, ikterus gravis neonatorum'da ve diabetes mellitus gibi metabolizma değişiklikleri ile ilgili hallerde; saman nezlesi, uygun olmayan kan aktarmalarında; asfeksilerde (hipoksi), çeşitli zehirlenmelerde (karbonmonoksit zehirlenmesi, inhalasyon yolu ile anestezi), histamin, safra ve safra tuzları gibi maddelerin etkisi ile travma sonucu zedelenmelerde görülür ve ödem oluşur ^{8, 23}. Mandalarda pastorellozis, sığır ve domuzda antraks, atlarda gurm, durin, viral arteritis ve at vebası gibi enfeksiyöz hastalıklarda yangı nedeniyle ödem oluşur ⁴.

3. Kılcal damarlarda onkotik basıncın azalmasına bağlı ödemler: Kan proteinleri azalınca kanın onkotik basıncı düşer. Onkotik basıncın azalması hücrelerarasından sıvı çekme gücünü de azaltır ve hidrostatik basınca karşı koyamaz. Kanın hidrostatik basıncına karşı gelen bu gücün azalması, hidrostatik basıncın daha da etkili olmasına neden olur. Kılcal damarlardaki kan sıvısı hücrelerarasına daha çok sızar.

Hücrelerarasına geçen sıvı, kılcal damarların venöz ucundan difüzyonla geri dönemez ^{3, 8, 13, 19}.

Deride geniş yanıklar, kan plazmasından büyük oranda albumin kaybedilmesi- ne neden olur. Bu nedenle ağır yanıklarda sadece yanık çevresindeki dokularda şid- detli ödem oluşmakla kalmaz. Ayrıca onkotik basıncın azalması sonucu, vücutta yaygın ödemler oluşabilir.

Bazı böbrek hastalıklarında, en büyük bölümü albumin olmak üzere idrarla be- lirlgin biçimde protein kaybedilir. Albuminin sürekli yitirilmesi sonucunda kan plaz- masında albumin azalır. Böylece kanın onkotik basıncı düşer ve böbreklere bağlı tüm organizmayı ilgilendiren genel ödem oluşur. Bu ödem yaygın olmakla beraber gevşek bağ dokusunun çok fazla olduğu kesimlerde daha belirgindir. Ödem sıvısı, çok az miktarda protein içerir. Bu bakımdan bu tipteki ödem sıvısı, kılcal damar ge- çirgenliğinin bozulması sonucu oluşan ödem sıvısından farklıdır. Bu şekildeki ödem nefrotik sendromlarda görülür. Akut yaygın glomerulonefritte görülen ödemin olu- şumunda kanın onkotik basıncının azalması ile beraber geçirgenlik artmasının da ro- lü vardır. Akut yaygın glomerulonefritte ödem önce yüzde, özellikle gözlerin çevre- sinde oluşur. Nefrotik sendromlardaki ödem ise, daha yaygındır ve iç organlarda da görülür^{8, 13, 23}.

Karaciğer sirozunda albumin sentezi bozukluğundan dolayı kan proteinleri azdır. Kanın onkotik basıncı düşer ve ödemler oluşabilir. Ayrıca sirozda antidiüretik hormon fazla salgılanır ve ödem bu mekanizma ile daha da artar.

Kanser, tüberküloz gibi süregen hastalıklarda, sürekli beslenme yetersizliği ve uzun süren açlık durumlarında, savaş sırasında besinler ile yeterli protein alamayan kimselerde kan proteinleri çok azalır. Bunun sonucunda kanın onkotik basıncının azalmasıyla sıvı kandan hücre aralıklarına geçer, böylece protein yetersizliğine bağlı ödem oluşur. Beslenme bozukluğu ve açlık durumlarında tiamin yetersizliğinden dolayı beri-beri'nin kalp-damar tipinin oluşması ve kalp yetersizliğine bağlı ödemle- rin gelişmesinde söz konusu olabilir²³. Koyunlarda şiddetli distomatozis kanda al- bumin azalmasına, bu da onkotik basıncın düşmesine ve ödem oluşumuna neden olur⁴.

4. Hücrelerarası sıvıda onkotik basıncın artmasına bağlı ödem: Hücrelerarası sıvıda protein moleküllerinin artması onkotik basıncın artmasına neden olur. Bu da, kan sıvısının kılcal damarlardan dışarıya daha çok sızmasını sağlar ve ödem oluşu- muna yardımcı olur²³.

5. Lenf yollarının tıkanmasına bağlı ödem: Kılcal damar endotelinden hücre- lerarası sıvıya çok az miktarda protein sızmaktadır. Hücrelerarası sıvıya sızan bu proteinler kılcal damarların venöz ucundan difüzyonla geriye dönemez. Çünkü pro- teinlerin kandaki derişimi hücrelerarası sıvıdaki derişimden yüksektir. Sızan sıvıda biriken proteinler lenf kılcal damarlarına girer ve sadece bu yolla kan dolaşımına ge- ri dönerler. Lenf damarları, hücrelerarası sıvıyı sürekli boşaltmakla hücrelerarasında protein derişimini düşük düzeyde tutar. Bununla beraber kılcal damarların venöz ucunda proteinsiz sıvının geriye dönüşü, kılcal damarlarda onkotik basıncın hidros- tatik basınçtan fazla olması nedeniyle sürer^{3, 13, 19}. Ameliyat sonrası durumlarda, örneğin meme kanseri gibi olaylarda koltukaltı lenf düğümlerinin meme ile beraber çıkarılması sonucu kolda ödem oluşur. *Filaria bancrofti*'de özellikle ölü parazitler, hem mekanik olarak lenf yollarını tıkarlar, hem de lenf yolunda yangı, yani lenfan- jitiye neden olarak lenf yollarını daraltır. Hücrelerarası sıvı ve protein buradan süreksiz-

li lenf damarları ile uzaklaştırılmaz ve protein derişimi artar. Bu artış kann protein derişimi düzeyine ulaşırsa hücrelerarası sıvının onkotik basıncı yükselir, çok miktarda suyu hücrelerarasına çeker. Lenf damarları da tıkalı olduğu için hücrelerarası sıvıyı sürekli biçimde boşaltıp protein derişimini hücrelerarasında düşük düzeyde tutamaz ve şiddetli ödem oluşur. Ödem en kötüsü bu tür ödemdir. Flaria bancrofti ile oluşan ödemde bacak şişmiş, deri kalın ve sarkıktır. Bu nedenle bacak fil bacağına ve derisine benzediği için elefantiazis denir ^{3.8.16.23}.

6. Dokularda çok tuz ve su tutulmasına bağlı ödemler: Sodyum iyonlarının hücre aralıklarında tutulması, süregen kalp, böbrek, karaciğer hastalıklarında, bazı arteriel hipertansiyon olaylarında, bazı hipofiz, böbreküsti bezi salgılama bozukluklarında görülür ²³. Tuz tutulmasının mekanizması kesin olarak bilinmemektedir. Böbrekler gerektiği kadar idrar çıkaramaz, birey normal tuz ve su almasını sürdürürse bedende tüm hücre dışı sıvı miktarı giderek artar. Bu sıvı sindirim kanalından emilerek kana geçer ve kılcal damar hidrostatik basıncının yükseltir. Bu da sıvının büyük bir kesiminin hücrelerarasına geçmesine neden olur ve sonunda sodyum klorürün suya karşı olan ilgisi nedeniyle yaygın ödem oluşur. Su yalnız başına ne kadar çok alınırsa alınsın bedende tutulamaz. Ancak tuzla yani sodyum ile beraber alındığında bedende kalabilir. Bu nedenle, bedende sodyum tutulması, ödem oluşmasının başlıca nedenidir. Çünkü bedende kalan 1 gr. NaCl beraberinde 100 ml. su tutar ^{8.16}.

7. Dış hava basıncının azalmasına bağlı ödemler: Kılcal damarlardaki kan basıncının artmasında olduğu gibi, burada da damar dışında sıvı artması görülür. Çok oksijen olduğu halde, havacılarda yükseklere çıkınca dolaşım bozuklukları oluşur. Hayvanlar deneysel olarak basıncın alçak olduğu bir silindire konulduğunda tüm bedende yaygın ödem belirlenir ve ölüm görülür ²³.

Ödem oluşumunu önleyen etmenler: Hücrelerarası sıvının basıncı normalin (5 mm.Hg.) biraz üstüne çıkarsa, hücrelerarasına giren fazla sıvı, lenf damarlarına girer, lenf akımı artar ve fazla sıvıyı hücrelerarasından uzaklaştırır. Çeşitli nedenlerle ödem yapıcı etmenlerin etkisi arttıkça hücrelerarası sıvı basıncı artar. Fakat, basınç 10 mm.Hg. oluncaya kadar ödem görülmez. Basınç arttıkça hücrelerarası sıvı lenf yollarına daha çok girer ve lenf dolaşımı ile dokudan uzaklaştırılır. Lenf akımı artınca, hücrelerarası sıvıdaki proteinleri de alıp götürür. Hücrelerarası sıvının proteini azalınca onkotik basıncı düşer. Bu nedenle sıvının kılcal damarlardan hücrelerarasına geçmesi de azalmış olur ¹⁶.

Kılcal damarın arteriel ucunda hidrostatik basınç 35 mm.Hg. kadardır. Ödem oluşması için söz konusu hidrostatik basıncın 50 mm.Hg. ye ulaşması gerekir. Ödem oluşmasını önleyici etmenler, çok etkili bir biçimde işlevini yapar. Ancak, ödem oluşturan bozukluklar çok şiddetli ve ileri ölçüde kan dolaşım bozukluğu yaparsa ödem oluşur ¹⁶.

LİTERATÜR

1. AKGÜN, N. (1972): Fizyoloji I. Boşaltım, Dolaşım, Sindirim. Ege Üniversitesi Matbaası. Bornova-İzmir.
2. ALLEN, L. (1967): Lymphatics and lymphoid tissues. Ann. Rev. Physiol. 29: 197.

3. ANDAÇ, O. (1967): Hücre fizyolojisi. Hacettepe Üniversitesi Yayınları / A 20. Ankara.
4. AYTUĞ, C.N. (1980): Klinik tanı ders notları. Bursa Üniversitesi Veteriner Fakültesi. Bursa.
5. BİLGE, M. (1978): Hücre Bilimi. 2. baskı. Nazım Terzioğlu Matematik Araştırma Enstitüsü Baskı Atölyesi. İstanbul.
6. ERKOL, M. (1966): Organlar Fizyolojisi. Cilt 1, 2. baskı. A.Ü. Basımevi-Ankara.
7. FUNG, Y.C. and ZWEIFACH, B.W. (1971): Microcirculation: Mechanics of blood flow in capillaries Ann. Rev. Fluid Mechanics 3: 189: Cited: Milnor, R.W. (1980): Capillaries and lymphatic vessels In "Medical Physiology". Vol I., Chapter 43, Mountcastle, V.B., 14. Ed., The C.V. Mosby Company, St. Louis, 1085-1092.
8. GREEN, J.H. (1974): ABC de physiologie clinique. Traduit de l'angles par Seroussi. Masson, Paris.
9. GUYTON, A.C. (1981): Textbook of medical physiology. 6 ed. W.B. Saunders Company, Philadelphia, London, Toronto.
10. HERMANN, H. et GIER, J.F. (1976): Precis de physiologie. Volum 1. Deuxieme partie, Le sang, la lympe, les compartiments liquidiens de l'organisme. Masson, Paris.
11. HORN, V. (1976): Gewebsflüssigkeit, höhlenflüssigkeiten, lympe und lymphoretikulöres system. In "Lehrbuch der veterinar-physiologie" A. Scheunert; A. Trautmann, eds., sechste Auflage, Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg, pp, 458-466.
12. INTAGLIETTA, M. PAWULA, R.F. and TOMPKINS, W.R. (1970): Pressure measurement in the mammalian microvasculature. Microvasc. Res. 2: 212. Cited: Milnor, R.W. (1980): Capillaries and lymphatic vessels. In "Medical Physiology". Vol. I., Chapter 43, Mountcastle, V.B. 14. Ed., The C.V. Mosby Company, St. Louis, 1085-1092.
13. KOLB, E. (1975): Physiologie des animaux domestiques. Traduit de l'allemand par Labie, ch et Michelat, J., Vigot Freres, Paris.
14. MEYER, P. (1977): Physiologie humaine. ed., Flammarion Medecine-Sciences Paris.
15. MILNOR, R.W. (1980): Capillaries and lymphatic vessels. In "Medical physiology". Vol. L., Chapter 43, Mountcastle, V.B., 14. Ed., The C.V. Mosby Company, St. Louis, 1085-1092.
16. NOYAN, A. (1980): Fizyoloji ders kitabı. Meteksan limited şirketi, Beytepe-Ankara.
17. PROTHERO, J.; BURTON, A.C. (1961): The physics of capillary flow. Biophy. J. 1, 566-579. Cited: Spörri, H. (1976): VIII. Blutkreislauf. In "Lehrbuch der veterinar-physiologie" A. Scheunert; A. Trautmann, eds., sechste Auflage, Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg, pp, 467-591.
18. RUCKEBUSCH, Y. (1977): Physiologie pharmacologie therapeutique animales. Maloine S.A. Editeur, Paris.

19. SMITH, C.R. and HAMLIN, R.L. (1977): Microcirculation and lymph In "Dukes physiology of domestic animals". 8 th ed., Swenson, M.J. ed. Cornell University Press, İthaca and London. pp. 121-132.
20. SPÖRRI, H. (1976): VIII. Blutkreislauf. In "Lehrbuch der veterinar-physiologie" A. Scheunert; A. Trautmann, eds., sechste Auflage, Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg, pp, 467-591.
21. TERZİOĞLU, M. (1978): Fiziyojji ders kitabı. Cilt II. Hilal Matbaacılık Kollektif Şirketi, İstanbul.
22. WRIGHT, S.; KEELE, C.A.; NEIL, E. (1973): Physiologie appliquee a lamedecine, Traduit de l'anglais par Barres, G. Flammarion, Paris.
23. YEMERMAN, M. (1980): Genel Patoloji. Cilt 1. Çeliker Matbaacılık Sanayii ve Ticaret Kollektif Şirketi, İstanbul.
24. ZWEIFACH, B.W. and INTAGLIETLA, M. (1968): Mechanics of fluid movement across single capillaries in the rabbit, Microvas. Res. I: 83. Cited: Milnor, R.W. (1980) capillaries and lymphatic vessels. In "Medical Physiology". Vol. I., Chapter 43, Mountcastle, V.B., 14. Ed., The C.V. Mosby Company, St. Louis, 1085-1092.