

Meniskusların biomekaniği ve fonksiyonel anatomisi

Aziz Alturfan ⁽¹⁾

Menisektomilerden ve bilhassa total menisektomilerden sonra meniskusların fonksiyonlarının bir bölümü veya tamamı ortadan kalkmaktadır. Bu konu ile ilgili çeşitli biomekanik çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmaların sonuçları çoğu kez klinik sonuçlarla uyumluluk göstermektedir. Meniskusların diz eklemindeki önemli fonksiyonlarını her an göz önünde tutmak gerekir. Başka bir deyişle uygulanacak cerrahi tekniğin iyi seçilmesi ve meniskusların anatomik yapısının korunması, cerrahın ilk prensibi olmalıdır.

Biomechanics and functional anatomy of meniscii

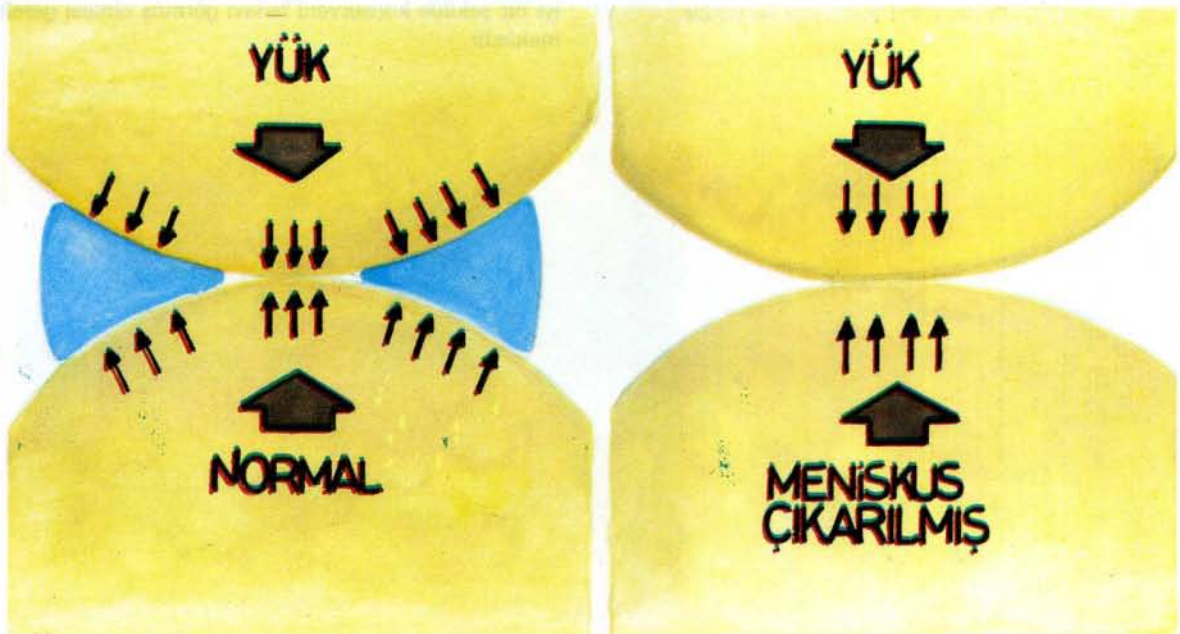
Following meniscectomies and especially total meniscectomies, the functions of meniscii are either partially or totally eliminated. A variety of studies have been carried out regarding this subject. The results of the studies performed mostly correlate well with the clinical results. It is always necessary to take into consideration the important functions of meniscii in the knee joint. In other words, it should be a surgeon's first principle to select the best surgical technique to be applied and to preserve the anatomical structure of the meniscii.

Eklem yüzeyleri arasındaki temas yüzeyinin küçük olduğu diz ekleminde yüzey birime binen yüklenme büyük olmasına rağmen, meniskuslar, yüklenme sonucu oluşan zorlanmanın bir kısmını üzerlerine alırlar (Şekil 1). Bu durumda eklem yüzeyleri arasındaki uyumsuzluk çok azalmış olur (24).

Vücut hareketleri esnasında oluşacak dinamik kuvvetlerin yere aktarılması sürecinde, diz ekleminin ve bu arada meniskusların oynadığı rol kalitatif olarak bilinmektedir. Vücudun statik ve dinamik ağırlıklarının yere aktarılmasında meniskusların oynadığı rol, vücudun durumuna ve yürüme pozisyonları gibi çok sayıda değişkene bağlıdır. Kantitatif sonuç alınmak istendiğinde, bütün seçeneklerin hepsini birden gözönüne almak, sorunun çözümünü çok güçleştirir, hatta imkansız kılar.

Diz eklemi değişik hareketler yaptığından, biomekanik açıdan incelendiğinde bir hayli karmaşıklığa sebep olacağı ortadadır. Eklemi oluşturan anatomik yapılardan birinin işlevini araştırırken diğer anatomik yapıların bu araştırmayı güçleştirip hatta olanaksız bir hale getirmemesi için birtakım sadeleştirmelerin yapılması kaçınılmaz olmaktadır. Burada hemen şu soru akla gelmektedir; bir organın işlevini deneysel modellerle araştırabilmek için bu organın orjinalinden hangi ölçülerde sadeleştirme yapmak mümkündür? Diğer bir deyimle eklemi oluşturan elemanlardan hangilerinin yokluğu o organın asıl işlevini etkilemez? Bu soru biomekanik araştırmalar yapan her araştırmacıyı düşündürmüştür.

Morrison ve Milch, İskelet sistemini genel olarak iki tip kuvvetin etkilediğini bildirmiştir. Bunlardan ilki etraf kas-



Şekil 1: Normal ve meniskuslar çıkarılmış konumda eklem yüzeyindeki yük dağılımı.

(1) İ.Ü. İstanbul Tıp Fak. Ortopedi ve Travmatoloji A.b.d. Prof. Dr.

larının yaptığı çekme kuvveti, diğeri ise vücut ağırlığına bağlı olarak etki eden yer çekimi kuvvetidir (17,18,19). Morrison dizi etkileyen kompressif kuvvetlerin hesap edilmesinde, gerçek sonuçları önemli ölçüde değiştirmeyecek bazı sadeleştirmeler yapmıştır. Araştırmacı "Matematiksel kavramlarla tanımlanan bir eklem yapısı ve fonksiyonu bir dereceye kadar mekanik yönden sadeleştirilebilir" ifadesi kullanmıştır (19).

Kummer ise sözü edilen sadeleştirmeyi dinamik konumdan statik konuma geçiş için önermiştir. Böylelikle araştırmacı karmaşık olan sorunları daha basite indirgemıştır. Ancak Kummer bununla da yetinmiyerek biomekanik çalışmaların yapılabilmesini kolaylaştırmak için iskeletin dinamiğini anlara bölerek her bir anı statik konum olarak kabul edilmiştir (10).

Statik konumda çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Bu konuda diz eklemine yüklenmesinde meniskusların rolünü ilk araştıran yazar Fairbank olmuştur. Fairbank dizin tam ekstansiyon konumunda yük taşıdığını bildirmiş ve menisektomiden sonra dizde ortaya çıkan dejeneratif değişikliklerin yük taşıma fonksiyonunun sonucu olduğunu göstermiştir (1).

Walker ve Erkman menisektomiden sonra eklem kırdağı üzerinde ve subkondral kemikte zorlanmanın arttığını, temas sahasının değiştiğini göstererek çıkarılan meniskusun altındaki kırdağ dokusunun geleceği üzerinde durmuştur (27,28).

Seedholm ve arkadaşları bilateral menisektomiden sonra zorlanmanın meniskuslu konuma göre üç misli arttığını göstermişlerdir (21). Yaptıkları diğeri bir çalışmada diz tam ekstansiyon durumunda iken meniskusların yüklenme durumunu kantitatif olarak ölçer bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu yöntemde Instron aletini kullanmışlardır. Diz piyesleri üzerindeki bu çalışmalarda iç meniskusun eklem zorlanmasında yükün % 50'sini ve dış meniskusun ise % 70'ini taşıdığını saptamışlardır (22).

Yine aynı konuda Kurusowa ise, bilateral menisektomiye takiben femur ve tibia kondilleri arasındaki temas yüzeylerinin bariz bir şekilde azalması sonucu eklem kırdağı üzerindeki yükün 2 ila 3 misli arttığını bildirmiştir (11).

Oebermuth lateral menisektomiden sonra eklem statikliğinin ileri derecede bozulduğuna dikkat çekmiştir (29).

Mac Conaill, eklem içindeki sürtünme kat sayısının menisektomiye takiben % 20 arttığını bildirmiştir (13).

Fotoelastisite yöntemi ile yaptığımız biomekanik çalışma sonuçlarını, diğeri çeşitli yöntemlerle yapılan çalışmalarla birlikte değerlendirdik:

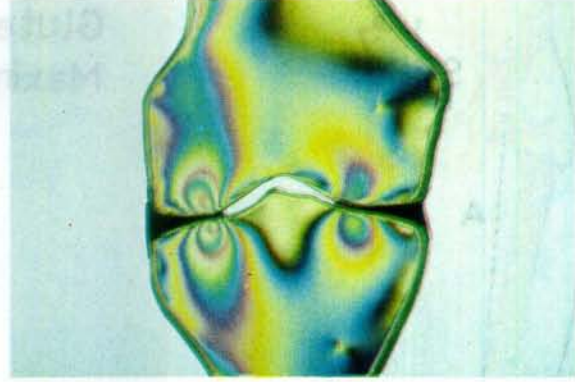
1- Menisektomi, kesin tanı konulan vakalarda yapılmalıdır, çünkü meniskusun eklem zorlanmasını azaltmada ki işlevi çok önemlidir (Şekil 2).

2- Menisektomi bölgelerinde sürekli basınç artması gözlemlendiğinden artroz gelişimi daha hızlı olmaktadır.

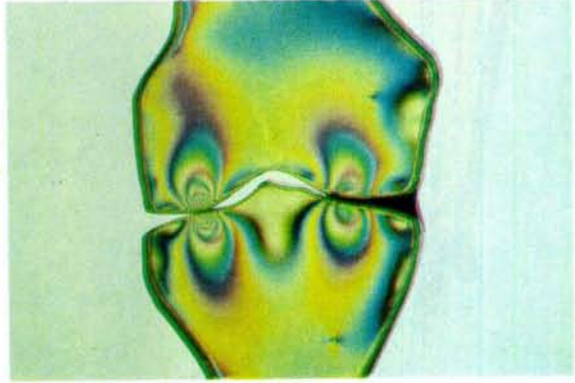
3- Özellikle dış menisektomilerde, dış meniskus bölgesinde aşırı basınç artmaları tesbit edilmiştir (Şekil 3).

4- Meniskusun diz eklemine fonksiyonları gözönünde tutularak, anatomik bütünlüğü elden geldiğince korunmalıdır.

Yapılan çalışmalar; menisektomi sonrası meniskus cerrahisinde uygulanan tekniğe de bağlı olarak, eklem statik ve dinamik konumunda çeşitli derecelerde bozukluklar meydana geldiğinde ortaya koymuştur.



Şekil 2: Meniskuslar, eklem binen yükü eşit olarak dağıtır.



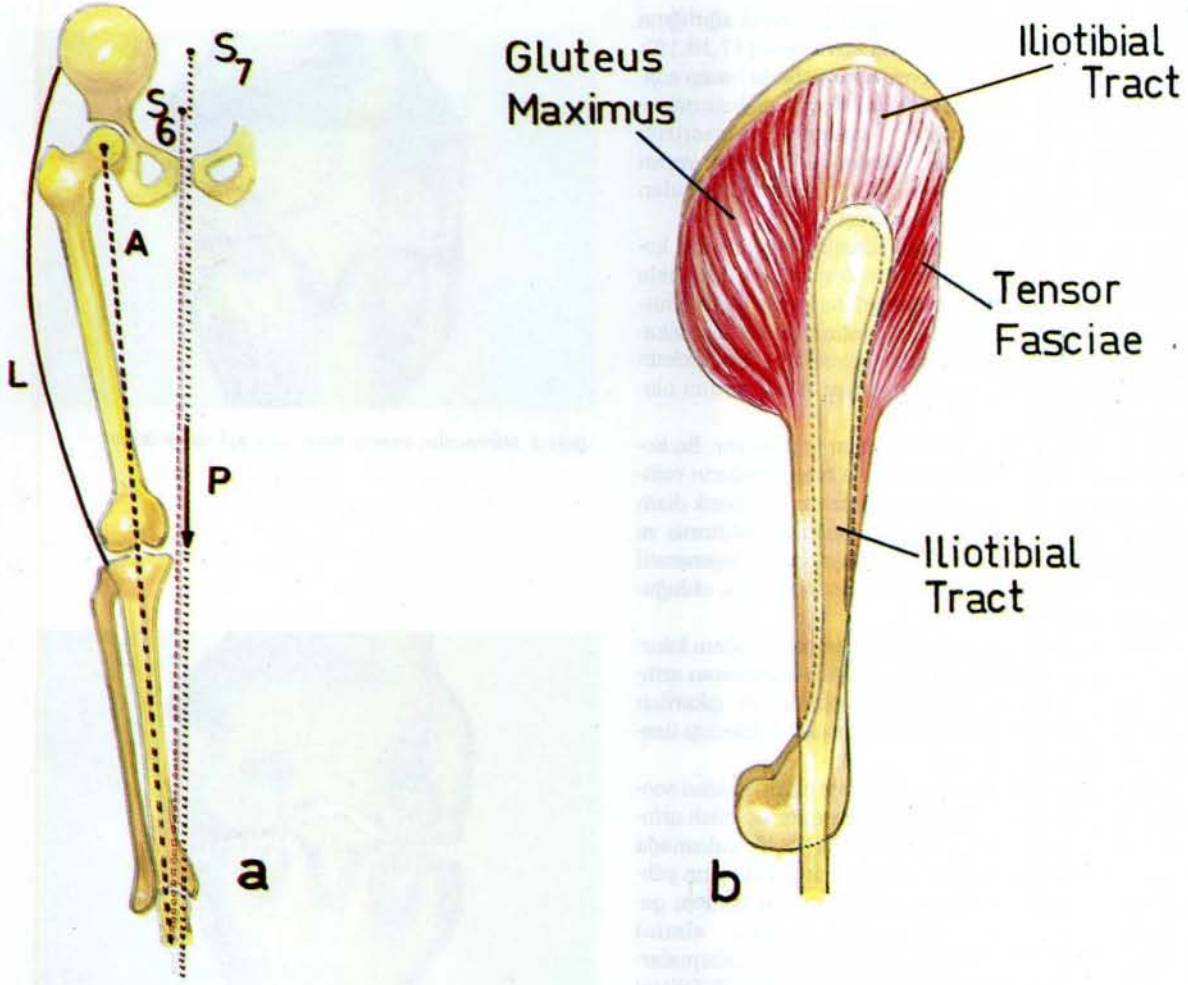
Şekil 3: Dış menisektomi yapıldığında bu bölgede aşırı yüklenme ortaya çıkar.

titik ve dinamik konumunda çeşitli derecelerde bozukluklar meydana geldiğinde ortaya koymuştur.

Meniskusların fonksiyonel anatomisi

Hareket ve destek sisteminde yer alan çeşitli eklemlerden biri de diz eklemidir. Bu eklem günlük aktiviteler içindeki önemli yeri, eklemi oluşturan değişik anatomik yapıların koordine çalışmaları ile gerçekleşir. Hareket esnasında diz eklemine stabilitesini, eklem etrafındaki kasların dinamik aksiyonu sağlar. Patella ile birlikte quadriceps kası kuvvetli dinamik bir stabilizatördür. Meniskuslar, kollateral ve çapraz bağlar statik bir stabilizatör olarak rol oynar (7,9,23,25,26.)

Diz eklemine statik ve dinamiğinde en önemli anatomik oluşumlardan biri olan meniskuslar, fibröskartilajinöz yapıdadır. Meniskusların dış kenarları daha kalın olup iç tarafa doğru incelenecek şekilde sonlanır. Tibianın üst eklem yüzünü tamamen kaplamazlar. Orta kısımları açık kalır. Meniskusların tibial yüzleri düz, femur kondiline bakan



Şekil 4: Bir ayak üzerinde durma ve pelvik deltoid.

a) Tek ayak üzerinde durma pozisyonu.

S₆: Vücudun ağırlık merkezini

S₇: Dizin desteklediği vücut kısmının ağırlık merkezini

P: Vücudun bu kısmının ağırlığını

L: Adale dengesi desteğini

A: Ekstremitenin mekanik aksını göstermektedir.

b) Pelvik deltoid veya lateral m.üsküler destek.

yüzleri ise hafif konkavdır. Dış kenarları eklem kapsülünün iç yüzüne tutunmuştur. Ön uçları birbiri ile ligamentum transversum genu ile birleşmiştir (12).

Tibio-femoral eklemden düzenli bir hareketin sağlanabilmesi için esas olan şart, diz ekleminin frontal plandaki dizilimidir. İnsan ayakta dururken vücut ağırlık merkezinin etkisi, ağırlık merkezinden geçen vertikal çizgi boyunca dizi etkiler. Bu çizgi diz ekleminin medialinden geçer. Bu kuvvet femuru tibia üzerinde eğilmeye zorlayan güç, iliotibial band, M.Tensor fasisa latae, M.Gluteus maksimustan oluşan ve "pelvik deltoid" adıyla bilinen dinamik lateral güç tarafından dengelenir (Şekil 4). Frontal planda etkili olan bu kuvvetlerin toplamı, frontal planda dizin kaldıracağı toplam yükü oluşturur. Meydana gelen bu kuvvet dizi normalde tibial çıkıntıda çaprazlar (14,15,16,20).

Sagittal planda diz ekleminin hareketleri çok komplikedir (Şekil 5). Tibia bu planda rotasyon hareketleri yaparken, femoral kondiller yuvarlama ve kayma hareketleri yaparlar (2,3,5,6,15,20,21).

Diz eklemi hareketleri fonksiyonel açıdan üç fazdan meydana gelir.

1- Mentşe fazı: Femoral kondillerin tibia sathı üzerinden kaydığı 60°'nin üzerinde fleksiyon hareketidir.

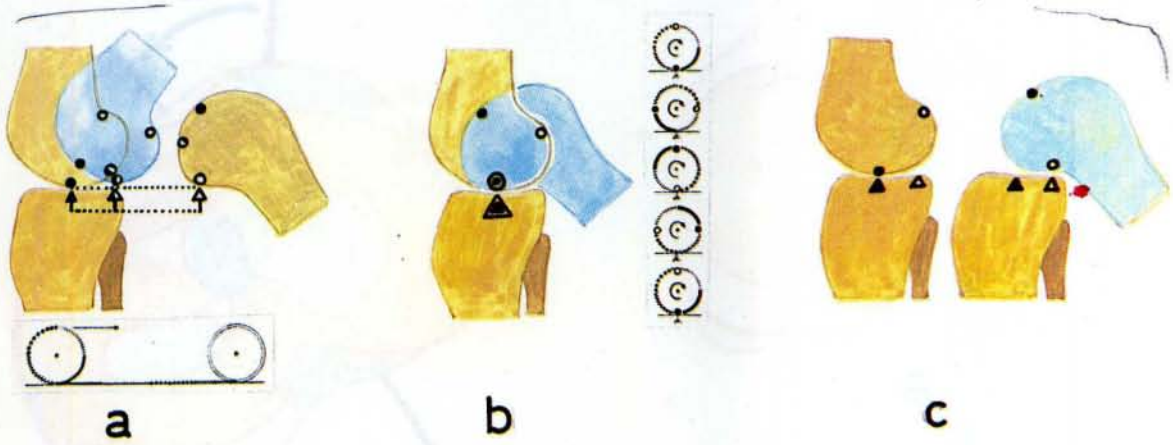
2- Yuvarlanma fazı: Femoral kondillerin her iki kondilde bazı farklı kayma faktörleri ile tibia sathı üzerinde yuvarlandığı 15°-60°'deki fleksiyon hareketidir.

3- Vida yuvası fazı (screw-home): Tam ekstansiyondan 15° fleksiyona kadar olan hareket sahasında meydana gelir (8).

Diz, vida yuvası (screw-home) mekanizması ile kitlebilir (4,5,8,9,20,25,26).

Yürüme esnasında eklem en büyük fleksiyonu salınım (swing) fazında görülür ve 75°'lik sınır içindedir. Temas (stance) fazının büyük bir kısmı için, Fleksiyon 20°'den daha azdır. Fakat ayak parmaklarının kalkışında yaklaşık 55°'ye varır (19).

Menisküsler diz eklemi hareketlerine uyarak, tibia kondilleri üzerinde kayarlar. Bu kayma hareketi ekstansiyonda öne, fleksiyonda en az 1 cm. arkayadır. Kayma



Şekil 5: Dizde müküler destek yuvarlanma, kayma ve kombine hareketler.

- a) Dizde sadece yuvarlanma hareketi olduğu düşünülürse, anatomik fleksiyon alanının tamamlanması ile femur, tibia platosunun daha da arkasına yuvarlanırdı.
- b) Sadece bir tek temas noktasında kalmak üzere pür bir kayma söz konusu olsa idi, fleksiyonun seyri sırasında, tibiaya nazaran femurun hareketi, teorik olarak bir tek temas noktası üzerinde olurdu. Bu esnada da 130° fleksiyonda femur metafizi, tibia platosu arka köşesine çarpardı.
- c) Hem yuvarlanma hem de kayma hareketinin kombine olarak oluştuğu varsayıldığında, temas noktaları da gösterilerek, fleksiyon hareketi esnasında tibiaya göre femurun hareketi görülmektedir. Bu şekil, tibia-femoral eklemin gerçek fizyolojik hareketini göstermektedir.

hareketi lateral meniskusta mediale oranla daha belirgindir (Şekil 6).

Meniskusların femur kondilleri ile birlikte tibia platosu üzerinde arkaya doğru kaymaları sonucunda diz fleksiyonunda artma olur. Meniskusu bir tavaya benzettiğimizde bu "tavanın arkaya kayması" ile tibia arka kenarının, femura çarpması önlenmiş olur.

Meniskuslar dizin rotasyon hareketleri esnasında da kayarlar ve şekil değiştirirler. Özellikle dış meniskus, iç meniskusa göre daha fazla kayar ve şekil değiştirir. Meniskuslar kayma halinde iken, aynı zamanda tutundukları yüzey etrafında dönerler.

Meniskuslar eklem yüzeylerinden kendilerine aktarılan basınca bağlı olarak bazan daha kalın, bazan daha ince, bazan daha fazla, bazan da az bükülmüş şekil alırlar. Komşulukta buldukları eklem yüzeylerinin şekline derhal adapte olurlar ve böylece iç basıncı eşitlerler.

Elastik olan meniskuslar, dizin ekstansiyonu esnasında, femur ve tibia kondilleri arasında interpoze olarak ekstansiyonu frenleme etkisi gösterir. Yine meniskuslar ekstansiyonda uzunlukları yönüne çekilirler ve bu esnada daralır. Fleksiyonda ise daha geniş ve daha kısa olurlar. Yine dizin fleksiyonu esnasında meniskusların 1/3 ön ve 1/3 arka boynuzları gerilir, buna paralel olmak üzere

re eklem kapsülüne yapıştıkları menisko-kapsül alanı da gerilme olur. Maksimal fleksiyon hareketi sırasında meniskusun arka kısımları, femur kondilleri ve tibianın arka eklem yüzeyinin basıncına maruz kalır. Bu durumda 1/3 orta ve arka bölümlerin arasındaki geçiş bölgesinde keskin köşeli iç kenar, bu esnada daha dalgalı (ondüle) bir şekil alır.

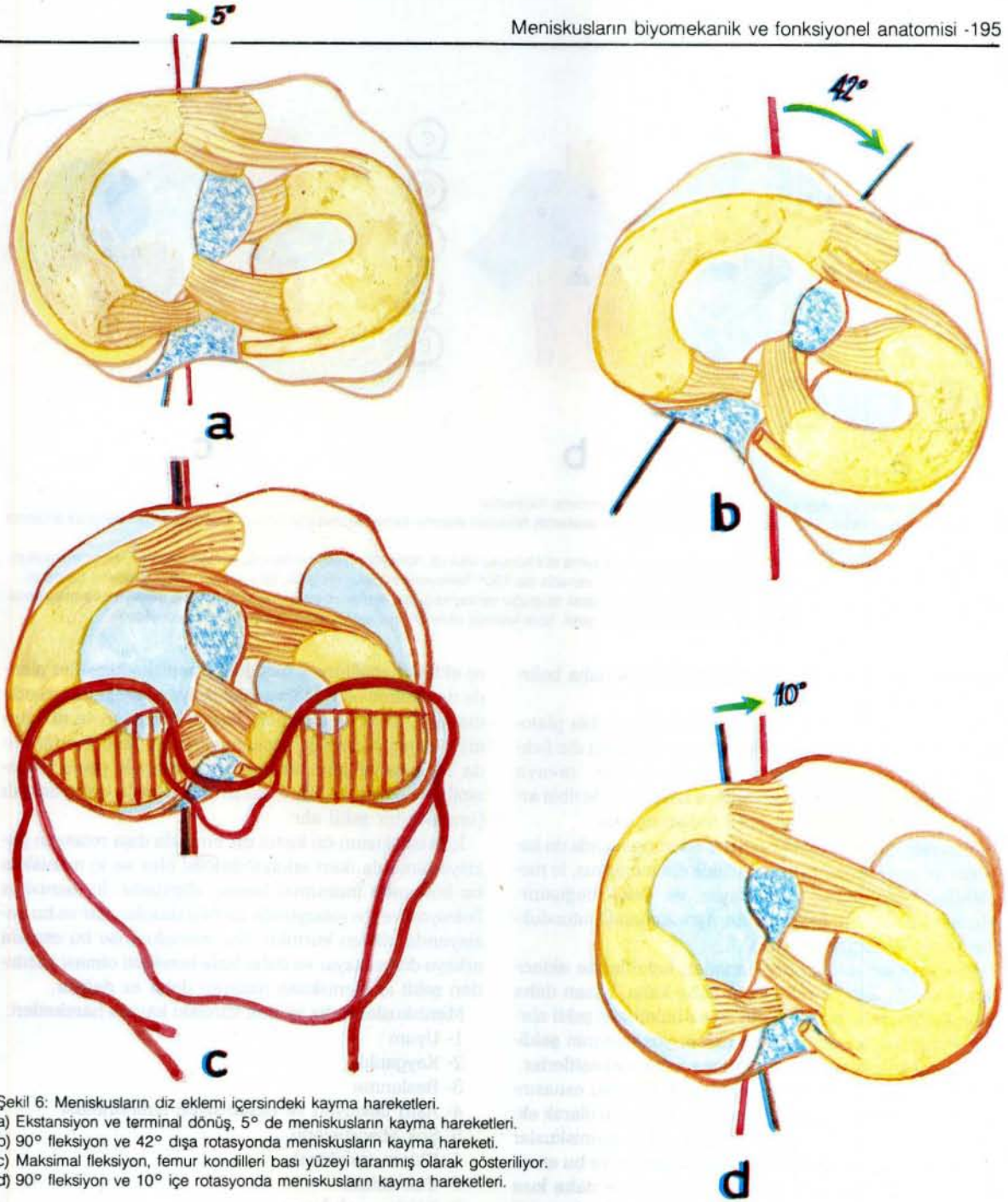
İç meniskusun ön kısmı diz en fazla dışa rotasyon pozisyonunda iken arkaya disloke olur ve iç meniskus bu konumda maksimal basıncı altındadır. İç meniskus fleksiyon ve içe rotasyonda ise öne disloke olur ve bu pozisyonunda yükten kurtulur. Dış meniskus ise bu esnada arkaya doğru kayar ve daha fazla hareketli olması yüzünden şekli iç meniskusa nazaran daha az değişir.

Meniskusların diz eklemi içindeki kayma hareketleri:

- 1- Uyum
 - 2- Kayganlık
 - 3- Beslenme
 - 4- Aşırı fleksiyon ve ekstansiyon sınırlanması
 - 5- Şok absorbiyonu
 - 6- Eklem stabilitesi
 - 7- Yük iletimi
 - 8- Yükün azaltılması
- gibi fonksiyonların, kolaylıkla yapılmasını sağlar.

Kaynaklar

1. Fairbank T.S.: Knee joint changes after meniscectomy. J.Bone Jt. Surg. 30-B: 664, 1984.
2. Frankel V.H.: Biomechanics of the knee. Orthop.Clin.North.Amer. 2: 175, 1971.
3. Frankel V.H., Bursteina.H., Brooks D.B.: Biomechanics of internal derangement of the knee. J.Bone Jt.Surg. 53-A: 945, 1971.
4. Hallen L.F., Lindhal O.: The "screw-home" movement in the knee joint. Acta Orthop.Scand. 37:97, 1966.
5. Helfet A.J.: Mechanism of derangements of the medial semilunar cartilage and their management. J.Bone Jt.Surg. 41-B: 319,1959.
6. Helfet A.J.: Disorders of the knee. J.B.Lippincott Co.Philadelphia Toronto, 1974.
7. Insall J.N.: Surgery of the knee. Churchill Livingstone, New York, Edinburg, London and Melbourne 1984.
8. Iseki F.,Tomatsu T.: The biomechanics of the knee joint with special reference to the contact area. Keio J.Med. 25:37, 1976.
9. Kapandji I.A.: Physiology of the Joints. Vol.2, Lower Limb; Livingstone, Edinburg and London 1970.
10. Kummer B: Photoelastic studies on the functional structure of bone. Polia Biotheoretica IV'de Anatomica functionali leiden 1966.



Şekil 6: Menisküslerin diz eklemi içerisindeki kayma hareketleri.
 a) Ekstansiyon ve terminal dönüş, 5° de menisküslerin kayma hareketleri.
 b) 90° fleksiyon ve 42° dışa rotasyonda menisküslerin kayma hareketi.
 c) Maksimal fleksiyon, femur kondilleri başı yüzeyi taranmış olarak gösteriliyor.
 d) 90° fleksiyon ve 10° içe rotasyonda menisküslerin kayma hareketleri.

11. Kurusowa H., Fukubayashi T., Nakajima H.: Load-Bearing mode of the knee joint-physical behavior of the knee joint with or without menisci. Clin.Orthrop. 149: 283, 1980.
12. Lang J., Wachsmut W.: Praktische Anatomie, Bein und stauk, Bd.L, 4. Teil, 2.Aufl., Springer Verlag, Berlin (1972).
13. Macconail M.A.: The function of intra-articular fibrocartilages with special reference to the knee and inferior radio-ular joints. J.Anatomy. 66: 210, 1983.
14. Maquet P.: Biomechanics and osteoarthritis of the knee. Sicot, XI, Congres, Mexico, October 1966.
15. Maquet P.: Biomechanics of the knee. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York 1976.
16. Maquet P., Simonet J., Marchin P.: Biomechanique du genou et gonarthrose. Rev.Chir.Orthrop. 53: 111 1967.
17. Milch H.: Photo-elastic studies on bone forms. J.Bone Jt.Surg. A-22: 621 1940.
18. Morrison J.B.: Bioengineering analysis of force actions transmitted by the knee. Biomed.Eng. 3: 164 1968.
19. Morrison J.B.: The mechanics of the knee joint in relation to normal walking. J.Biomechanics Vol. 3: 51 1970.
20. Radin E.L.: Biomechanics of the knee joint. Orthop.Clin.North. Amer. 4: 2, 539 1973.
21. Seedholm B.B., Dowson D., Wright V.: The load-bearing function of the menisci: a preliminary study. The knee joint, recent advances in basic research and clinical aspects. Proc. International Congress Rotterdam, September 13-15, 1973. Excerpta Medica, Amsterdam American Elsevier Publishing Co.Inc.New York 1974.
22. Seedholm B.B., Dowson D., Wright V.: Functions of the menisci A preliminary study. J.Bone Jt.Surg. 56-B: 381 1974.
23. Shinno N.: Statico-dynamic analysis of movement of the knee. Biomechanics 1, 1st.Int.Seminar Zürich 1967 pp.228-237; (Karger, Basel/new York 1968).
24. Shrive N.G., O'Connor J.J., Goodfellow J.W.: Load-bearing in the knee joint.Clin.Orthrop. 131-279 1978.
25. Smillie I.S.: Injuries of the knee joint. Churchill Livingstone, Edinburg-London 1971.
26. Turek S.L.: Ortopedi ilkeleri ve uygulamaları (Çev.Rıdvan Ege). Yargıçoğlu Matbaası, Ankara 1980.
27. Walker P.S., Erkman M.J.: The function of the menisci of the knee. J.Bone Jt.Surg. 57-A: 1028 1975.
28. Walker P.S., Erkman M.J.: The role of the menisci in force transmission across the knee. Clin.Orthrop. 109: 184 1975.
29. Oubermuth H.: Meniskus Exirtipation-regeneration und Arthrosis deformans. Der Chirurg 11: 22 1941.