



Brakioradialis pronatorplastinin biyomekanik değerlendirmesi

Halil İbrahim BEKLER¹, Türker ÖZKAN²

¹Sağlık Bakanlığı, Dr. Lütüfi Kırdar Kartal Eğitim ve Araştırma Hastanesi, 2. Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği, İstanbul

²İstanbul Üniversitesi, İstanbul Tıp Fakültesi, El Cerrahisi Bilim Dalı, İstanbul

Amaç: Önkoldaki supinasyon deformitesinin düzeltilmesi ve aktif pronasyonun geri kazanılması için, biceps “rerouting” (yeniden yönlendirme) yönteminin uygulanmadığı durumlarda, Özkan ve ark. tarafından önerilen brakioradialis kasının transferlerinden yararlanılmaktadır. Çalışmamızda bu yöntemin biyomekanik analizinin yapılması amaçlandı.

Çalışma planı: Dokuz taze dondurulmuş kadavra önkolunda brakioradialis kasına sırasıyla interosöz aralıktan “rerouting” (yeniden yönlendirme) (Grup 1) ve ekstansör karpi ulnaris (EKU) distal yapışma bölgesine transfer (Grup 2) yöntemleri uygulanarak pronasyon gücü kazandırıldı. Kasa 5 N - 35 N aralığında çekme uygulanarak önkolda oluşan rotasyon derecesi ve kuvveti ölçüldü. Verilerin normal dağılıma uygunluğuna Saphiro-Wilk testi ile bakıldı. İki grup arasındaki karşılaştırmalar t testiyle, grup içi karşılaştırmalar bağımlı gruplar için “paired t” testiyle ve Bonferroni düzeltmesi kullanılarak yapıldı.

Bulgular: Brakioradialis yeniden yönlendirmesinde maksimum 74° (ortalama 61°) pronasyon kazancı, brakioradialis EKU transferinde maksimum 72° (ortalama 65°) pronasyon kazancı gözlemlendi. Birinci grupta anlamlı bir regresyon ilişkisi vardı. Regresyon sabiti -9.59 (p=0.001, %95 güven aralığı: -13.20, -6.00), uygulanan güç ise 2.06 N (p=0.001, %95 güven aralığı: 1.90, 2.22) idi. İkinci grupta da anlamlı bir regresyon ilişkisi vardı. Regresyon sabiti -9.73 (p=0.001, %95 güven aralığı: -13.13, -6.34), uygulanan güç ise 1.91 N (p=0.001, %95 güven aralığı: 1.76, 2.06) idi.

Çıkarımlar: Çalışmamızda brakioradialis kasının önkol tam supinasyonda iken pronator olarak çalıştığı gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, önkol pozisyonu nötrale yaklaştığında, lateralde yerleşim gösteren proksimal yapışma yeri nedeniyle, kasın yarattığı çekme kuvvetinin yönü değişerek pronator etkisini sıfırlamaktadır. Transfere ek olarak uygulanan kontrakte dokuların uzatılması/gevşetilmesi işlemleri pronasyon kazancını arttırmaktadır.

Anahtar sözcükler: Beyin felci; brakial pleksus felci; brakioradialis; pronasyon; supinasyon.

Travmatik veya doğumsal alt brakial pleksus felci ya da poliomyelit nedeniyle, biceps brachii ve supinator kasların hareketine karşı konulamaması sonucunda, önkolda supinasyon kontraktürü gelişebilir.^[1,2] Rotasyonel önkol deformitelerinin düzeltilmesi son derece zordur. Steindler tarafından tanımlanan güçlü supinator kasların kesilmesi, osteoklazi, proksimal radial osteotomi, Zancolli'nin biceps kirişi yeniden yönlendirmesi ve tek kemikli önkol füzyonu

gibi birçok tedavi yöntemi önerilmiştir. 2004 yılında pronasyon ve supinasyon'un yeniden kazanımı için Özkan ve ark. tarafından brakioradialis tendonunun yeniden yönlendirmesi ve brakialis kasının önkol kaslarına transferi teknikleri tanımlanmıştır.^[3] Brakioradialis kası pronasyon deformitesinde supinasyonun yeniden kazanımı için başarıyla kullanılmaktadır. Bu tekniğin etkinliği ve yararlılığı Cheema ve ark.'nın biyomekanik çalışmalarıyla kanıtlanmıştır.^[4]

Özkan ve ark., süpinasyon deformitesinin düzeltilmesi için de brakioradialis kasını kullanmışlardır. Yazarlar intermuskuler septumdan yönünü değiştirmek suretiyle kasın vektörünü değiştirmişlerdir. Brakioradialis kası ortaya konularak serbestleştirildikten sonra, tendinöz kısmından z-plasti ile 5 cm uzatılmış; Kirişin distal ucu radius ile ulna arasından interosseöz aralık boyunca ulnar volar taraftan radial dorsal tarafa doğru geçirilerek proksimal tendon ucuna dikilmiştir.^[5]

Supinator kasların pronator kaslara oranla daha kuvvetli olduğu nöromusküler hastalıklarda oluşan süpinasyon kontraktürlerinin el ve tüm üst beden fonksiyonları üzerinde olumsuz etkisi vardır. Günlük işlerin çoğunun tam süpinasyondaki bir elle yapılması mümkün değildir. Bu nedenle, fonksiyonel bir ele sahip olmak için, süpinasyon kontraktürünün düzeltilmesi çok önemlidir.^[6]

Yumuşak doku kontraktürlerinin ağır olmadığı; eklem çıkıklarının ve kemik deformitelerinin olmadığı olgularda tendon transferi ameliyatları tercih edilebilir.^[7] Pronasyonun kazanılması için bicepsin yeniden yönlendirilmesi (*rerouting*) cerrahisini gerçekleştirmek için triceps kasının sağlam olması gerektiği çok iyi bilinir.^[8]

Brakioradialis kası anatomik pozisyonu ve kuvvetinden dolayı önkoldaki kas transferlerinde iyi bir seçenektir. Biz bu kasın pronator olarak kullanımını biyomekanik olarak tartışmak istedik.

Bu çalışmada brakioradialis kası yeniden yönlendirmesinin etkinliğinin araştırılması ve brakioradialisin farklı noktalara nakli ile daha güçlü pronasyon sağlayabilme olasılıklarını gözlemek amaçlandı.

Gereç ve yöntem

Çalışmada dokuz adet taze dondurulmuş erişkin kadavradan (yaş aralığı 65-75 yaş; 5 kadın, 4 erkek) elde edilen dirsek üstü üst ekstremite kullanıldı. Tüm cilt ve cilt altı yağlı dokular çıkarılırken brakioradialis kası ve eklerinin korunması için özel bir dikkat gösterildi.

En az 90° pasif pronasyon ve süpinasyon yapabilen, bariz eğrilik ya da daha önce geçirilmiş yaralanma veya cerrahi girişime ait belirgin bulguları olmayan kadavra örnekleri kullanıldı.

Humerus cisminin proksimal kısmı yumuşak dokularından dikkatlice sıyrıldı ve çelik bir boruya sı-

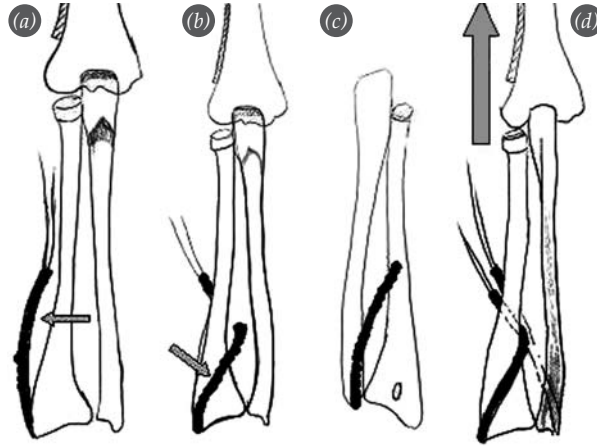
kıca tespit edildi. Humerus cisminin boruya tespiti için bir tel ve çimento kullanıldı; 2 mm çaplı yivli tel borunun distal ucundan 1 cm mesafede kemiği enlemesine geçecek şekilde borunun her iki ucundan geçirildi. Telle tespit sonrası, boru-kemik aralığı olası tüm hareketleri önleyecek şekilde çimento ile dolduruldu.

Brakioradialis kasının distal yapışma yeri dikkatle korundu ve kas kitlesi etrafındaki fasyal yapılar sıyrıldı, kas daha sonra Özkan tarafından tanımlanan tekniğe göre tüm bağlantılarından serbestleştirildi. Brakioradialis kirişi kas kiriş birleşme yerinden, olabildiğince proksimal olarak kesildi. Brakioradialis tendonunun distalde kalan bölümünün proksimal ucuna Krackow tekniği kullanılarak 2 numara dikiş ile askı yapıldı (Şekil 1a). Bu serbest kiriş bölümünün proksimal ucu volardan dorsale ulnardan radiale doğru interosseöz aralıktan geçirildi (Şekil 1b). Brakioradialis kirişinin yeniden yönlendirilmesi oluşturulmuş ve kasın distal kiriş bölümünün proksimal ucu radius cisminin dorsal ve ulnar tarafında yer almış oldu.

El bileğindeki ulnar ekstansör kas bulunup, serbestleştirildi (Şekil 1c). Bu kiriş, önkolun distal ve orta 1/3 birleşme yerindeki yapışma yerinden kesildi. Çektirme için Krackow tekniğine uygun şekilde 2 numara Vicryl güvenli olarak uygulandı (Şekil 2).

Böylece brakioradialis kasının iki yolu oldu. Ayırılmış ipler bu iki tendona uygulandı. Bu ipler brakioradialis kasının proksimal yapışma yerinin orta noktasına uygulanan bir makaradan geçirildi (Şek. 1d). Bunu yaparken sistemi, “yeniden yönlendirme” (*rerouting*) ve EKV’e transfere benzetmeye çalıştık. Makaradan geçirilen tendon asıcı ipler 5,10, 15, 20, 25, 30 ve 35 N ile vertikal olarak yüklendi ve her yük ile oluşan pronasyonun açısal ölçümü yapıldı. Hareketler tam süpinasyonda başlatıldı, 90° süpinasyon 0° farz edildi. En büyük yüklenme olan 35 N ile oluşturulan rotasyon kuvveti bir torkmetre (Digital Dial Torque Wrench ed 1-75i) kullanılarak belirlendi (Şekil 3).

Verilerin normal dağılım ile uyumu Shapiro-Wilk testi ile kontrol edildi. İki grup arasındaki karşılaştırmalar için t testi, grup içi değerlendirmelerde eşlendirilmiş t testi ve Bonferroni düzeltmesi kullanıldı. Uygulanan yüklerin ve alınan tepkilerin karşılaştırılmasında lineer regresyon analizi kullanıldı.



Şekil 1. (a) Brakioradialis tendonu distali sağlam bırakılarak serbestleştirilir. (b) Brakioradialis tendonu interossöz aralıktan volderden dorsale geçirilir. (c) Ekstansör karpi ulnaris tendonu serbestleştirilir. (d) Ekstansör karpi ulnaris tendonu dorsalde radiale alınır. Kısa oklar: Brakioradialis, ECU: ekstansör karpi ulnaris.

Bulgular

Beş N yüklü kadavralarda ortalama 3.5° rotasyon elde edilirken, EKU'e transfer yapılan kadavralarda 5 N yükte dönme 3.75° olarak kaydedildi. Uygulanan maksimum yük olan 35 N ile "yeniden yönlendirilme" ile 60.67° dönme elde edildi, ancak EKU'e transfer ile 64.89° dönme oldu. Elde edilen torkun "rerouting" de 465.6 nm ve EKU'e transferde 526.7 nm olduğu; özetle her yük düzeyinde EKU'e transferin daha etkili olduğu bulundu (Tablo 1).

Her iki grupta da uygulanan kuvvetle istatistiksel olarak anlamlı derecede hareket sağlandı ($p < 0.005$). Regresyon analizinde ilk grupta belirgin oranda regresyon vardı [-9.59 Sabit ($p=0.001$, %95 güvenlik

aralığı: -13.20 -6.00), yük uygulanan 2.06 ($p=0.001$, %95 güvenlik aralığı: 1.90 2.22)].

İkinci grupta belirgin regresyon vardı [Sabit-9.73 ($p=0.001$, 95% güvenlik aralığı: -13.13 -6.34), yük uygulanan 1.91 ($p=0.001$, %95 güvenlik aralığı: 1.76 2.06)].



Şekil 2. İnterossöz aralıktan dorsale alınmış brakioradialis ve radiale alınmış ekstansör karpi ulnaris tendonları.



Şekil 3. Önkol aksında serbest rotasyon sağlayan ölçüm cihazı.

Tablo 1. Uygulanan kuvvet ile elde edilen rotasyonel hareketi gösteren tablo.

Kadavra no	Kas	5n hareket	10n hareket	15n hareket	20n hareket	25n hareket	30n hareket	35n hareket	Tork
793l	br-ecu		4	13	41	53	63	67	480
793r	br-ecu	0	9	12	23	28	42	50	300
750r	br-ecu	8	20	19	35	47	53	68	700
795l	br-ecu	0	7	12	23	34	55	67	450
779l	br-ecu	0	12	23	26	35	55	69	500
750l	br-ecu	15	18	20	25	28	50	63	510
795r	br-ecu	7	19	25	30	41	54	68	550
779r	br-ecu	0	9	20	32	40	55	60	580
781l	br-ecu	0	10	23	35	44	57	72	670
.		3.75	12	18.556	30	38.889	53.778	64.89	526.7
793l	br rerouting	0	12	14	22	36	47	63	620
793r	br rerouting	5	10	13	27	34	49	64	300
750r	br rerouting	6	12	15	26	32	47	57	650
795l	br rerouting	4	11	14	29	38	50	61	510
779l	br rerouting	7	10	25	27	43	58	70	480
750l	br rerouting	5	10	20	28	50	56	74	390
795r	br rerouting	0	11	21	24	26	48	53	440
779r	br rerouting	0	7	11	21	28	46	54	350
781l	br rerouting	5	9	14	19	23	41	50	450
.		3.5556	10.222	16.333	24.778	34.444	49.111	60.67	465.6

br: brakioradialis; ecu: ekstansör karpi ulnaris; l: sol; r: sağ

Regresyon analizi testte saptanan hareketlerin uygulanan kuvvetlerle orantılı olduğunu ortaya koydu. Çalışmamızda uygulanan kuvvet arttıkça elde edilen pronasyon açısının arttığı gözlemlendi.

Tartışma

Brakioradialis kasının interossöz membran gevşetmesine ek olarak uygulanan brakioradialis rerouting işleminde Özkan ve arkadaşları ortalama 28° supinasyon deformitesi olan üst ekstremitelerde 49° pronasyon elde etmişlerdir.^[3]

Ancak bulgularımız brakioradialis yeniden yönlendirilmesi rerouting ve EKU'e transferi ile, kasın ilk 60 derecelik pronasyonda pronator etki sağlayabildiğini, takiben kasın anatomik özelliğine bağlı olarak pronator etkisini kaybetmesi sonucu aktif ve yeterli önkol pronasyonunun elde edilemeyeceğini göstermektedir. Tam supinasyonu 0° varsayarak yapılan yeniden yönlendirilme ölçümlerinde, 5N ile başlayıp 35N'a kadar artan yüklenmeyle yaklaşık 3.5°'den başlayarak 60.6°'ye kadar çıkan bir pronasyon artışı elde edildiği saptandı. Br-EKU transferinde, her ne kadar kazanç her yüklenme düzeyinde yaklaşık olarak daha fazla bulunmuş olsa da, maksimum kazanç 64.8° idi.

EKU ve brakioradialis kas transferi ile yapılan ölçümler, önkola tam supinasyonda bir miktar pronasyon verilebilmekteydi, elde edilen bu pronasyon önkolün nötral konuma ulaşması için yeterli değildi. Yüklemeye pronasyon olduğu, ancak pronasyon şeklindeki rotasyonun tam supinasyondaki önkolu nötrale yakın hafif supinasyon konumuna getirebildiği gözlemlendi. Bu brakioradialis transferi çalışmasında, maksimum supinasyonun yenilebileceğini ancak önkolün gerçek pronasyon durumunun elde edilemeyeceğini gördük. Brakioradialis transferiyle kazanılan kuvvete rağmen önkol hala 25°-30° supinasyonda durmaktadır.

Klinikte başarılı olan bu teknik biyomekanik çalışmada neden başarısız görülmektedir? Bilindiği üzere, önkolün rotasyonu radiusun sabit ulna üzerindeki hareketidir. Bu hareketi yapabilmek için bir motor gücün, yani kasın, rotasyonel bir kuvvet uygulaması gerekir. Pronasyondaki en önemli kuvvet olan pronator teres kası, volerde medial epikondil-ulna ekseninde radiusun orta kısmının 1/3 dorsoradialine ulaşır; 90° fleksiyondaki bir dirsekte kolu içe çevirir; sağ kolda yüzü bize dönük bir kişide saat yönünde bir dönme hareketi yaptırır. Ulna saat kadranının merkezi olarak kabul edildiğinde, pronator te-

res kasının çekme yönü saat 9 hizasından 3 hizasına doğrudur ve böylece pronasyon sağlanır (Şekil 4).

Çalışmamıza temel konu olan brakioradialis kasının proksimal yapışma yerinin orta noktası saat 11 hizasındadır. Önkol nötral pozisyonda iken, kasın proksimal yapışma yeri ile distal yapışma yerinin orta noktası paralel konumundadır; dolayısıyla nötral pozisyonda herhangi bir rotasyon yoktur (Şekil 5).

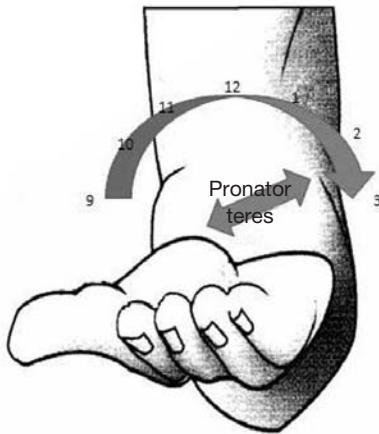
Distal yapışma noktası önkolun pronasyonunda saat 12 ve supinasyonda saat 6 konumuna yer değiştirir ve dolayısıyla kasın rotasyon işlevi başlar (Şekil 6).

Brakioradialis önkol supinasyonda iken pronator olarak ve önkolun pronasyonu sırasında da supinator olarak çalışır. Özet olarak distal yapışma yerini proksimal yapışma yeriyle aynı açısız konuma getirmek için çalışır.

Supinasyon elde etmek için brakioradialis dorsal-den volere getirildiğinde, distal yapışma yeri volerde konumlanır ve saat yönünün tersi istikamette bir rotasyonla supinasyon elde edilir; pronasyon durumunda var olan süpinatör kuvvet artmış olur. Brakioradialisin distal yapışma yeri dorsale taşınırsa, bu durumda yapacağı rotasyon hareketi pronasyondur.

Süpinasyon deformitesinde pronator güç eldesi için brakioradialis adelesinin volerden dorsale interossöz aralıktan geçirilme işlemi distal yapışma bölgesi dorsale alınmaktadır, bu şekilde pronasyon artmaktadır (Şekil 7).

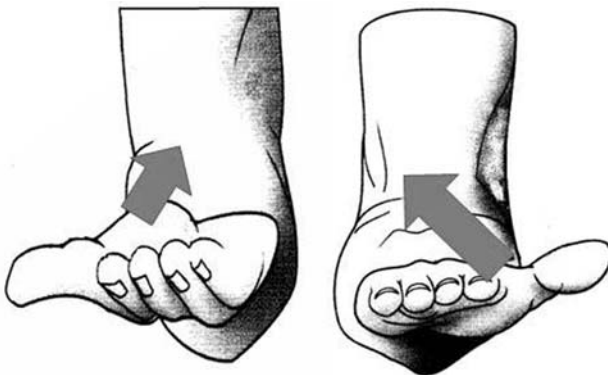
Brakioradialis EKU'ye transfer edersek, yapışma yerinin daha dorsoulnar bölgeye taşınacağına ve böylece rotasyonun daha fazla ve daha güçlü olacağına inanıyoruz. Ancak bu biyomekanik çalışmanın



Şekil 4. Tam supinasyonda pronator teresin kuvvet uygulama yönü ve oluşan rotasyon hareketi.



Şekil 5. Nötral pozisyonda brakioradialis kasının çekme yönü; pronasyon görevi sona ermiştir.



Şekil 6. Brakioradialis kasi tam supinasyonda pronator, tam pronasyonda supinator olarak çalışır.



Şekil 7. Süpinatörplastisi sonrası brakioradialis fonksiyonu.

sonunda, biz önkoldaki EKU transferiyle ortalama $64,8^\circ$ ve yeniden yönlendirme (*rerouting*) ile ortalama $60,6^\circ$ bir pronation elde edilebileceğini tespit ettik. Brakioradialisin EKU'ye transferiyle daha fazla kuvvet elde edildi. Ancak tekniklerin hiç birinde nötral konumu aşan pronasyon elde edilemedi, rotasyon $90^\circ-64,9^\circ=25,5^\circ$ veya $90^\circ-60,7^\circ=29,3^\circ$ supinasyonda sona erdi.

Tüm hareketlerde olduğu gibi, önkolun sürekli rotasyon hareketi için de aynı doğrultudaki kuvvet sürekli olmalıdır. Hareketi başlatan kuvvetle hareketin yönü aynıysa hareket devam eder. Ancak brakioradialis kası lateral epikondile yapıştığından, önkol nötral rotasyona yakın konuma geldiğinde, döndürme kuvveti artık pronasyon konumunda değildir ve belirli bir açıda nötral hale gelir. Oysa aynı kas pronasyon deformiteli bir kolda süpinatör olarak kullanıldığında tam süpinasyonda bile distal yapışma (kuvvet aktarım) bölgesi proksimal yapışma bölgesinin unlar ve volerinde kalacağından süpinasyon kuvveti sürecektir. Pronasyon kazancı için yapılan brakioradialis nakilleri proksimal yapışma bölgesinin konumu nedeni ile sorunlu olacaktır.

Klinikte Özkan ve ark. tarafından bildirilen iyi sonuçların işlem sırasında yapılan yumuşak doku gevşetmelerinin yarattığı lokal etkiye ve brakioradialis kasının ilk pronasyon hareketini tetikleyici aktif pronator etkisine bağlamaktayız. Kanımızca brakioradialis adelesinin etkin pronator olarak kullanımı için proksimal yapışma bölgesinin mediale alınması

gerekmektedir. Brakioradialis kası iyi bir süpinasyon kaynağı olmasına rağmen, proksimal yapışma yerinin anatomik konumu nedeni ile pronator olarak ancak sınırlı işleve sahip olabilir.

Çıkar Örtüşmesi: Çıkar örtüşmesi bulunmadığı belirtilmiştir.

Kaynaklar

1. Wang AA, Hutchinson DT, Coleman DA. One-bone forearm fusion for pediatric supination contracture due to neurologic deficit. J Hand Surg Am 2001;26:611-6.
2. Sibinski M, Sherlock DA, Hems TE, Sharma H. Forearm rotational profile in obstetric brachial plexus injury. J Shoulder Elbow Surg 2007;16:784-7.
3. Özkan T, Tuncer S, Aydın A, Hoşbay Z, Gülgönen A. Brachioradialis re-routing for the restoration of active supination and correction of forearm pronation deformity in cerebral palsy. J Hand Surg Br 2004;29:265-70.
4. Cheema TA, Firoozbakhsh K, De Carvalho AF, Mercer D. Biomechanic comparison of 3 tendon transfers for supination of the forearm. J Hand Surg Am 2006;31:1640-4.
5. Özkan T, Aydın A, Özer K, Öztürk K, Durmaz H, Özkan S. A surgical technique for pediatric forearm pronation: brachioradialis rerouting with interosseous membrane release. J Hand Surg Am 2004;29:22-7.
6. Bahm J, Gilbert A. Surgical correction of supination deformity in children with obstetric brachial plexus palsy. J Hand Surg Br 2002;27:20-3.
7. Allende CA, Gilbert A. Forearm supination deformity after obstetric paralysis. Clin Orthop Relat Res 2004; (426):206-11.
8. Zancolli EA. Palliative surgery: pronosupination in obstetrical palsy. In: Gilbert A, editor. Brachial plexus injuries. London: Martin Dunitz; 2001. p. 275-91.