

Radius Distal Uç Kırıklarında Kan Akımı Kısıtlamalı Egzersizlerin Etkinliğinin İncelenmesi

Investigation of The Effects of Blood Flow Restricted Exercises on Radius Distal End Fractures

İbrahim ARKIN¹, Esra PEHLİVAN²

ÖZ

Kan akımı kısıtlamalı egzersiz eğitiminde (KAKE) güçlendirilmesi gereken bölgenin proksimaline uygulanan turnike ile bölgesel kan akımı kısıtlaması sağlanır. KAKE eğitiminin kas kuvvetlendirmesinde etkili olabileceği belirtilmektedir. Birçok çalışmada kan akımı kısıtlamalı egzersizlerin kırık rehabilitasyonunda faydalarının olduğu gösterilmektedir. Çalışmanın amacı radius distal kırıklarında kullanılmış kan akımı kısıtlamalı egzersizlerin etkinliğini incelemektir. Literatür derlemesi PubMed, Pedro ve Cochrane veri tabanlarında yapıldı. Derlemenin dahil edilme kriteri, radius distal uç kırıklarından mustarip hastaların alındığı çalışmalardır. Vücudun diğer bölümlerinde olan kırıklar ve diğer bölgelerde uygulanan KAKE eğitimi dahil edilmedi. İlk kaynak taramasında 264 sonuca ulaşıldı. Dahil edilmeme kriterleri sonrasında iki klinik çalışmaya ulaşıldı. Her iki çalışmada da gönüllüler 8 hafta KAKE eğitimine tabi tutulmuştur. Çalışmalarda kan akımı kısıtlamalı egzersizlerin el ve el bileğinin fonksiyonlarını arttırmada ve ağrıyı azaltmada pozitif etkilerinin olduğu gösterilmektedir. Sonuç olarak KAKE eğitimi distal radius kırık rehabilitasyonunda güvenli, faydalı, hastalar tarafından uygulanabilen bir egzersiz çeşidi olarak literatürde yer almaktadır.

Anahtar Kelimeler: Egzersiz, Kan akımı kısıtlamalı egzersizler, Kırık rehabilitasyonu, Radius kırığı

ABSTRACT

Blood flow restriction is performed with a tourniquet applied to the proximal part of the area that needs to be strengthened in blood flow restricted exercise training (BFRT). It is thought that BFRT can be effective in muscle strengthening. Many studies have shown that blood flow-restricted exercises have benefits in fracture rehabilitation. The study aims to examine the effectiveness of blood flow-restricted exercises used in distal radius fractures. The literature review was done in PubMed, Pedro, and Cochrane databases. Inclusion criteria for this review were randomized controlled trials in patients suffering from distal radius fractures. Fractures in other parts of the body and BFRT performed in other parts of the body were not included. Initial literature search, 264 results were found. After the exclusion criteria, two clinical trials were reached. In both studies, volunteers were subjected to 8 weeks of CFSE training. Studies have shown that blood flow-restricted exercises have positive effects on increasing the functions of the hand and wrist and reducing pain. As a result, BFR training is included in the literature as a safe, beneficial exercise type that can be applied by patients in distal radius fracture rehabilitation.

Keywords: Exercise, Blood Flow Restriction Training, BFR Therapy, Radius fracture

Giriş

El bileği mevcut 20 eklemi ve birbirinden bağımsız hareket edebilme özelliğine sahip bölümleriyle vücudun en karmaşık bölümlerinden biridir. Radiusun topografik şekli ise el bileğine bir destek görevi görmektedir. Günlük hayatta çeşitli şekillerde travmaya maruz kalan el ve el bileği bölgesinde olan kırıklar, klinikleri oldukça meşgul etmektedir. Bu

kırıkların içinde en çok görüleni ise radius kemiğinin distal bölümünde olan kırıklardır. Radius kırıkları, acil servise travma ile başvuran kırık olgularının %25'ini ve tüm önkol kırıklarının %75'inin oluşturmaktadır. Hayat boyu distal radius kırığı ihtimali osteoporoz oranının fazla olmasından dolayı erkeklerde %2, kadınlarda ise %18'dir. Kırıkların

Geliş Tarihi/Recieved: 21.03.2023 **Kabul Tarihi/Accepted:** 01.11.2022 **Çevrimiçi Yayın Tarihi/Avaliable Online Date:** 30.06.2023 **DOI:** 10.57224/jhpr.1091033

¹ Sağlık Bilimleri Üniversitesi Hamidiye Sağlık Bilimleri Enstitüsü Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Anabilim Dalı, arknibrahm@gmail.com, 0000-0003-1304-2309

² Sağlık Bilimleri Üniversitesi Hamidiye Sağlık Bilimleri Fakültesi Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Anabilim Dalı, esra.pehlivan@sbu.edu.tr, 0000-0002-1791-5392

Sorumlu yazar/Correspondence: İbrahim ARKIN, arknibrahm@gmail.com

Cite this article as: Arkin İ, Pehlivan E. Investigation of The Effects of Blood Flow Restricted Exercises on Radius Distal End Fractures. J Health Pro Res 2023;5(2): 130-137.

çoğu eklem içi olmasına rağmen komplikasyonların az olmasından dolayı konservatif yöntemlerde tedavi edilmektedir (1,2).

Distal radius kırıklarının insidansı son 30 yılda önemli oranda artmıştır (3,4). Distal radius kırıklarının görülme sıklığının ilerleyen yıllarda hem gençlerde hem de yaşlılarda daha da artacağı öngörülmektedir (5). Yaşlanma ile osteoporozun artmasıyla distal radius kırıklarının azalan kemik yoğunluğu ile paralellik gösterdiği belirtilmiştir (5–7).

Distal radius kırıkları radiokarpal eklemi de içine alan bir sağlık sorunu olduğu için doğrudan el bileği hareketlerini doğrudan etkilemektedir. Özellikle cerrahi fiksasyonun da dahil edilmesiyle el bileği fonksiyonlarının, yaşam kalitesinin artırılması ve ağrı seviyesinin azaltılması gerekmektedir. Tüm bunlar ele alındığında distal radius kırıkları çalışma süresini, rehabilitasyon süresini, istirahat süresini etkilediği kadar sağlık harcamalarını da önemli ölçüde etkilemektedir (4,8). Distal radius kırıklarında başta kompleks bölgesel ağrı sendromu olmak üzere ulnar impingement, akut karpal tünel sendromu, karpal malignite gibi komplikasyonlar gelişmektedir. Komplikasyonların görülme sıklığının azaltılması için uygulanması gereken el rehabilitasyonunun öncelikle egzersizleri içermesi gerekmektedir. İmmobilizasyon süresinin uzaması hastaların bağımlılığını arttırmakta, sosyal aktivitelerini kısıtlamakta ve hem fiziksel hem de emosyonel olarak olumsuz etkilemektedir (9–11).

American Collage of Sports Medicine, kas kuvvetinin yeniden kazanılması ve hipertrofi için 1 maksimum tekrarın %60'ı ile %100'ü arasında yüklenme yapılmasını önerse de distal radius kırıklarında özellikle erken dönemde eklem hareket açıklığının iyileştirilmesi ve yük bindirme hususunda kırığın noktasının yer değiştirmesi riski bulunmaktadır. Kas kuvvetinin ve eklem hareket açıklığının artması için hastalar uzun süre tedavilere katılmak durumundadırlar (12–14).

Aktif çalışan kasta kan akımını kısıtlama ya da düşük yoğunluklu vasküler oklüzyon oluşturma fikri 1960'ların erken dönemlerinde Japonya'da uygulanmaya başlanmıştır. Egzersiz esnasında kasa giden kanı kısıtlamayı amaçlayan bu eğitim şekli geleneksel olarak 'kaatsu' olarak bilinmektedir. Kaatsu için üretilen basınç kontrollü ve monitörize edilebilen bir egzersiz kemeri ile kan akımı kısıtlanmaktadır. Yöntemin başarılı olabilmesi için

uygulanan turnike yönteminin ekstremitenin proksimal bölgesine yapılması gerekmektedir ve bu şekilde kasa gerçekten daha az kan akımı gelmesi sağlanabilmektedir (15).

Kan akımı kısıtlanmalı egzersiz eğitimindeki asıl amaç kasta aşırı yüklenme hissi oluşturarak gelişim ve adaptasyon hızını arttırmaktır. Metabolik stres, yorgunluk, reaktif hiperemi, mekanik gerilim gibi etkilerin sayesinde kasta adaptasyon oluşmaktadır. Ek olarak kasta enine kesitin ve çevre doku hücre sayısının da arttığı görülmüştür. Tüm bu etkilerin sayesinde kasa az yük yüklenerek daha çok yük ile yapılan egzersiz eğitiminden alınan verim oluşturulmaktadır (16).

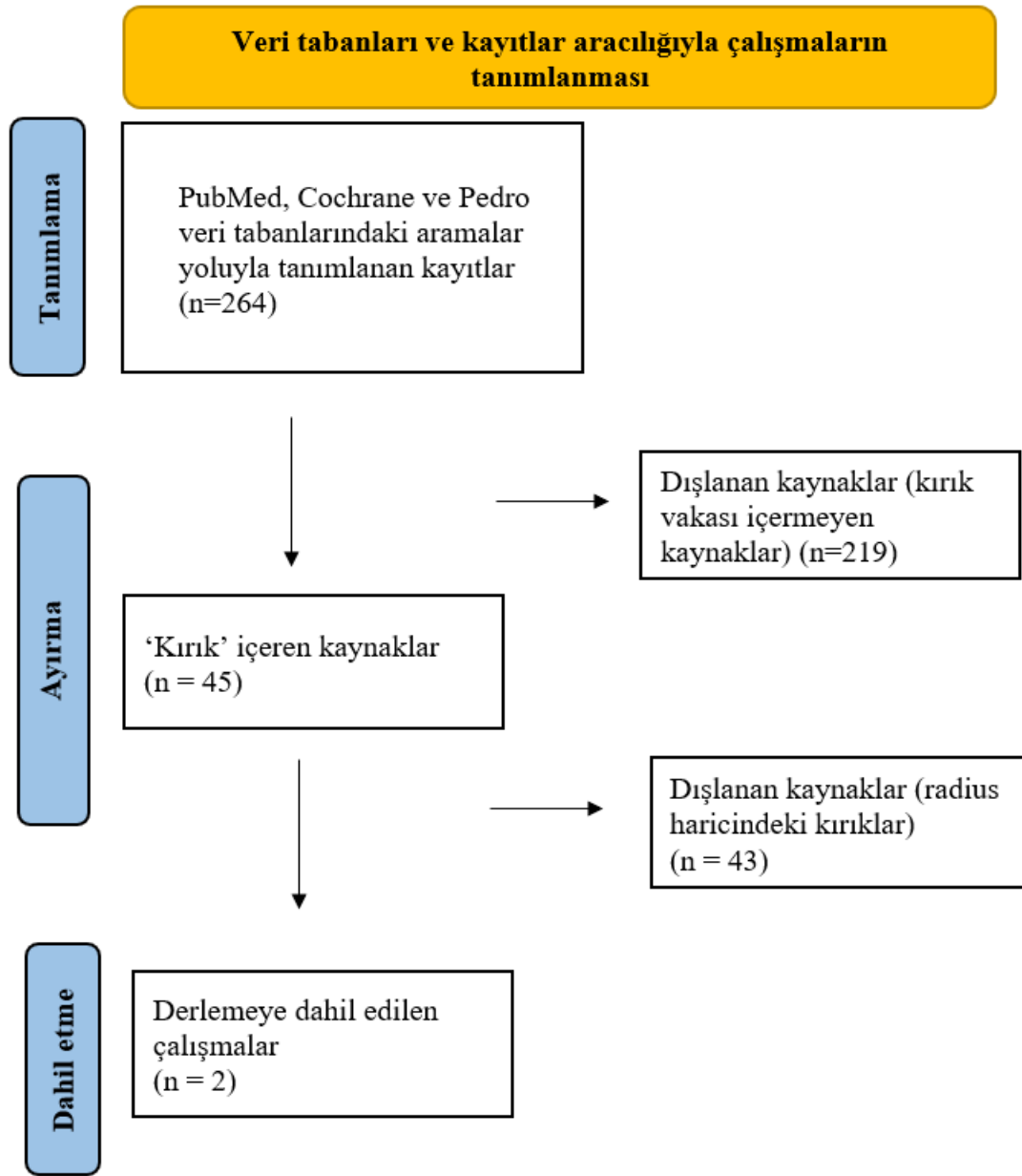
Egzersiz esnasında kan akımını kısıtlayarak; yüksek sistemik hormon üretimi, hücre büyümesi, reaktif oksijen türlerinin artışı, kas içi anabolik/katabolik olayların artması, hızlı kasılan kas lifi sayısında artış sağlanmaktadır. Oluşan yüksek iskemi ve hipoksi yüzünden kasta anjiyogenez ve hipertrofi gerçekleşmeye başlamaktadır (17). Son yıllarda yapılan çalışmalarda kan akımını kısıtlayarak 1 maksimum tekrarın %30'u kadar yüklenme ile yapılan egzersizin kasta hipertrofi sağlayacağı görülmüştür (18).

Bu çalışmanın amacı distal radius kırıkları toplam kırık olgularına oranla önemli bir oranda bulunduğundan dolayı hastaların daha erken yaşam kalitesine ve mobilizasyona kavuşmaları için literatürde alternatif bir tedaviyi incelemek ve etkinliğini gözden geçirmektir.

Gereç ve Yöntem

2021 yılının aralık ayında 3 ana veri tabanı olan PubMed, Cochrane ve Pedro veri tabanlarında 'Blood flow restricted training' AND 'Fracture' ya da 'Blood flow restriction' AND 'Fracture' şeklinde aramalar yapıldı. Arama yapılırken tarih, dil, yayın, cinsiyet sınırlaması yapılmadı. Aramalarda başlık, anahtar kelimeler ve özet bölümü dikkate alındı.

Çalışmanın dahil edilme kriteri olarak radius kemiği kırıklarında kan akımı kısıtlanmalı egzersizlerin kullanıldığı klinik çalışmalar olarak belirlendi. Dışlanma kriterleri olarak; vücudun diğer kemiklerinde olan kırıklar, radius kırıklarında uygulanan diğer egzersiz ve tedavi yöntemleri belirlendi. Çalışmanın literatür taramasını gösteren akış şeması şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Çalışmanın aşamalarını gösteren akış şeması (PRISMA 2020 akış diyagramı örnek alınmıştır).

Bulgular

Toplamda, kan akımı kısıtlamalı egzersiz yöntemi olarak arama yapıldığında 264 çalışma bulundu. Kan akımı kısıtlamalı egzersiz ve kırık şeklinde bakıldığında aramada ortaya çıkan sonuç sayısı 45 olarak bulundu. Çalışmaların başlıkları ve özet kısımları incelendiğinde 2 tane çalışma dahil edilme kriterlerine uygunluk gösterdi (Tablo 1).

Cancio ve arkadaşlarının 2019 yılında yayınladığı randomize kontrollü çalışmada radius distal uç kırıklarında kan akımı kısıtlamalı egzersiz eğitimi uygulanmıştır. Egzersiz grubunun ve kontrol grubunun olduğu çalışmada kol bölgesi kan akımı turnike ile kısıtlanmıştır. Değerlendirmeler 6., 10., ve 14. haftada alınmıştır. Görsel analog skala ve

hasta bazlı bilek değerlendirme (PRWE) ile değerlendirme yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda kan akımı kısıtlamalı egzersiz eğitimi hastalar için kullanılabilir ve güvenli olduğu belirtilmiştir (13).

Sgromolo ve arkadaşlarının 2020 yılında yayınladığı randomize kontrollü çalışmada operatif radius distal uç kırıklarında kan akımı kısıtlamalı egzersiz eğitiminin etkinliği ve güvenliği değerlendirilmiştir. Egzersiz grubu ve kontrol grubunun olduğu çalışmada kol bölgesindeki kan akımı turnike ile kısıtlanmıştır. 8 haftalık egzersiz programında değerlendirmelerde görsel analog skala, hasta bazlı el bileği değerlendirme, el bileği eklem hareket açıklığı, kavrama kuvveti ve

pinching(çimdikleme) kuvveti ölçülmüştür. Çalışma sonucunda ağrı seviyesinde azalma olduğu ve opere

radius distal kırıklarında kan akım kısıtlamalı egzersizlerin etkili olduğu belirtilmiştir (19).

Tablo 1. Dahil edilen çalışmalar

Yazar	Hasta/tedavi	Ölçüm	Sonuç	Anahtar bilgi
Cancio ve ark., 2019(13), randomize kontrollü çalışma (kanıt düzeyi:1b)	Toplam 13 katılımcı (n=7 kontrol grubu), haftada 3 kez olmak üzere 8 haftalık BFR egzersiz programı	İmmobilizasyon sonrasında 6,10 ve 14. haftalarda değerlendirme; DASH, PRWE, el bileği EHA, kavrama kuvveti ve çimdikleme kuvveti, VAS	Egzersiz grubunda ağrıda (p=0.03) ve PRWE skorunda (p=0.01) iyileşme	Non-operatif radius distal uç kırığının rehabilitasyonuna BFR egzersizlerinin eklenmesi güvenlidir; ağrıyı ve fonksiyonellikte olumlu etkiler göstermiştir.
Sgromolo ve ark., 2020(19), randomize kontrollü çalışma (kanıt düzeyi: 1b)	Toplam 9 katılımcı (n=4 kontrol grubu), haftada 3 kez olmak üzere 8 haftalık BFR egzersiz programı	Ameliyat sonrasında 6., 10, ve 14. haftalarda değerlendirilme yapıldı. PRWE, DASH, VAS ölçekleri kullanıldı, el bileği ve kol EHA ölçümü yapılmıştır	Egzersiz grubunda ağrıda(p=0.03) ve PRWE skorunda(p=0.01) iyileşme	Opere radius distal uç kırığı tedavisine BFR egzersizlerinin eklenmesi ağrıda ve fonksiyonellikte iyileşmeyi arttırmaktadır.

BFR: Blood flow restriction; DASH: disabilities of the arm, shoulder, and hand; PRWE: patient rated wrist evaluation scores; VAS: Visual analog scale

Tartışma

İncelediğimiz çalışmalarda, KAKE yönteminin radius kemiğinin distal uç kırıklarında tedaviye olumlu etkiler sağladığı görülmüştür. Kırık sonrasında oluşan fonksiyon kaybı, eklem hareket açıklığı azalması, ağrı artışı, dirsek ve omuz disfonksiyonları gibi durumların en kısa sürede iyileştirilmesi gerekmektedir. Kas kuvvetindeki artışın bu komplikasyonların daha kısa sürede toparlanmasına yardım edeceğini bize düşündürmektedir. Radius distal uç kırığı sonrasında KAKE yöntemi ile kas kuvveti daha az yüklenme ile daha fazla kuvvetlenme göstermiştir.

Literatüre bakıldığında insan vücudunda oluşan kırıkların büyük bir çoğunluğunu radius kırıklarının oluşturduğu görülmektedir. 40 yaş ve üzeri bakıldığında bu oranın %17 arttığı görülmektedir. Kırıklarda ilk 18 yaş öncesi ve ikinci 50 yaş üstü olmak üzere iki kez artış yaşanmaktadır. Radius kırıklarında birçok komplikasyon görülmektedir. El bileğinin karmaşık biyomekaniğe

sahip olması ve radius eklemının karpal kemikler ile eklem oluşturan geniş bir yüzeyinin olması iyileşme süresini etkilemektedir. Ödem, atrofi, osteoporoz, sudeck atrofisi, ağrı gibi sebeplerden dolayı iyileşme gecikmektedir ve yaşam kalitesi etkilenmektedir (20,21). El bileğinin ve el bileği çevresinin anatomik olarak daha karışık olduğunu ele alırsak eğer bu bölgede kompleks bölgesel ağrı sendromu gibi ciddi bir komplikasyon gelişirse ya da hastada halihazırda osteoporoz gibi kırık iyileşmesini zayıflatacak bir problem varsa bu ekstremitede el bileğinden omuz eklemine kadar bir fonksiyon kaybı görülecektir. Zira Sgromolo (19) ve Cancio (13) çalışmalarında PWRE ölçeği kullanarak üst ekstremitte fonksiyonlarında iyileşme gördüğüne göre yazarlar KAKE eğitimi ile komplikasyonların indirgenebileceğini düşünmektedir.

Kan akımı kısıtlamalı egzersizler maksimum tekrarın yapılmasının zor olduğu durumlarda kas atrofisini daha az yük ile

engellemeyi sağlayan bir egzersiz eğitimidir. Özellikle radius kemiğinin distal ucunda olan kırıklar el biyomekaniği için çeşitli dezavantajlar oluşturmaktadır. Kas atrofisi ve el bileği kemiklerinde oluşan osteoporoz riski var olan tabloyu sudeck atrofisi gibi durumlara da taşıyabilmektedir (22,23). Kan akımı kısıtlamalı egzersiz eğitimi fizyolojik olarak iki mekanizmaya ayrılmaktadır. Kas üzerine yüklenip atrofiyi azaltan, hipertrofiyi başlatan mekanik gerilim ve egzersiz sırasında artan metabolitlerin oluşturduğu metabolik stres birincil mekanizmadır. İkincil olarak mekanizmaya dahil olanlar ise anabolik/katabolik olaylar, nitrik oksit birikimi, sistemik ve bölgesel hormon salınımı, fibril artışıdır. Bütün bunlar göz önüne alındığında kas yapısında hipertrofiyi destekleyen bir sürü etmen olduğu görülmektedir (15). Literatürde kan akımı kısıtlamalı egzersizlerin çoğunlukla kas kuvvetini artırma yönüyle ön plana çıkarıldığını görmekteyiz (24). Özellikle kırık rehabilitasyonlarında da KAKE eğitimi kullanıldığını düşünürsek kırık iyileşmesinde doğrudan etkilerinin olup olmadığı sorusu ortaya çıkacaktır. KAKE eğitiminin kemik iyileşmesini doğrudan etkileyip etkilemediği kesinlik kazanmış bir durum değildir. Bazı çalışmalarda KAATSU egzersizlerinin kemik yapım faktörlerini arttırdığı belirtilse (25) de bazı çalışmalarda (26) da bu egzersizlerin kemik yapımını etkileme konusunda geleneksel güçlendirme egzersizlerinden çok daha geride kaldığı belirtilmiştir. Diğer yandan Loenneke ve ark. (27) KAKE eğitimi kullandıkları çalışmalarında kemik iyileşmesinin de olduğunu belirtmişler fakat bunun kesinliğinden bahsetmemişlerdir. Karabulut ve ark. ise KAKE eğitimi ile yüksek yoğunluklu kuvvetlendirme arasında bacak ekstansiyonu dışında bir fark bulamamıştır (28) Genele bakacak olursak KAKE eğitiminin radius distal uç kırıklarında kemik yapımını olumlu etkileyen herhangi bir kanıt bulunmamıştır. Literatürde yer alan KAKE eğitimi ve kemik yapımı ilişkisinden bahseden çalışmalar hayvan deneylerini (29) ve insanlarda başka ekstremitelerin kemik (25–28) dokularından bahsetmektedir. İnsanlarda kemik yapımını etkileyen alkalen fosfataz artışı ile KAKE eğitiminin kemik yapımına etkilerinden bahsedilmiştir (25,26,28). Bahsedilen bu çalışmalardaki sonuçların radius iyileşmesine de etki etme ihtimali vardır fakat bu konuda daha fazla sayıda randomize kontrollü çalışmaların yapılmasına ihtiyaç vardır. El bileğindeki işlevselliğin ölçülmesinde en yaygın yöntemlerden birinin el kavrama kuvveti olduğu

belirtilmiştir (30). Cancio ve Sgromolo da çalışmalarında PWRE ölçümlerinde kavramada anlamlı sonuçlar elde etmişlerdir (13,19). Distal radius uç kırıklarında fonksiyonelliğin ve kuvvetin geri kazanılmasında ek bir egzersiz yöntemi olarak KAKE eğitimi yazarlar önermektedir. Literatürde sedanter gençlerde ve yaşlılarda kan akımı kısıtlamalı egzersizlerin tolere edilebileceğini gösteren çalışmalara (31) ek olarak yaşlılarda KAKE eğitiminin hemodinamik parametreleri, kas hasarını, koagülasyon faktörlerini, arteriyel sertliği, vasküler endotel fonksiyonları da olumsuz etkilemediğini gösteren çalışmaları (32) da düşünürsek KAKE eğitiminin osteoporoz riski taşıyan hastalarda bile kullanılabilirliğini düşünmekteyiz.

Kırık noktasının doğru iyileşmesini sağlamak için göreceli immobilizasyon önerilmektedir fakat bunun sonucunda kas kuvveti ciddi manada kaybedilmektedir ve hastaların hayat kalitesi etkilenmektedir (27). Bu egzersiz tipiyle hastaların kırık öncesi kas kuvvetini aşırı mekanik stres oluşturmadan geri kazanmalarının mümkün olabileceği belirtilmektedir (33). Gerekli literatür taraması yapıldığında radius kırıklarında kan akımı kısıtlamalı egzersiz eğitimi hakkında derlemenin bulunmadığı görülmüştür. Bu çalışmada kan akımı kısıtlamalı egzersiz eğitiminin radius distal uç kırığında kullanılabilirliği ve kullanım durumunda ağrı, eklem hareketi, fonksiyonellik, yaşam kalitesi, kas kuvveti, kavrama kuvveti ve iyileşme süresi durumlarında olumlu sonuçlar alınabileceği belirtilmiştir. Hastaların opere olduğu veya olmadığı durumlarda tam yüklenme oluşturmadan atrofisini azaltmada bu egzersiz yönteminin kullanılabilirliği önerilmektedir.

Sonuç

Görülme sıklığı ve beraberinde getirdiği komplikasyonlar sebebiyle distal radius kırıklarının iyileşmesinin desteklenmesi gerektiğini düşünmekteyiz. Kan akımı kısıtlamalı egzersizler konusunda giderek artan çalışmaları düşünürsek, bu yöntemin radius distal uç kırıklarının rehabilitasyonuna eklenebileceğini düşünmekteyiz. Kan akımı kısıtlamalı egzersizlerin yapılabileceği vücut alanları sınırlıdır fakat önkol gibi nispeten daha küçük bir vücut bölümünde kan akımının belirli bir miktarda kısıtlanması çalışmalarda güvenli olarak gösterilmiştir. Bu tür kırıkların rehabilitasyonunu hızlandırma ve yaşam kalitesini artırma amacıyla tedavi yöntemlerine KAKE eğitiminin de eklenmesinin tedavide olumlu etkilerinin olacağını düşünmekteyiz.

Kaynaklar

1. Kürklü M, Koca K, Ege T, Mahiroğulları M, Başbozkurt M. Radius distal uç kırıklarında güncel tedavi yaklaşımları. *TOTBİD Dergisi* 2021; 11(1), 41-48.
2. Dursun M. Özşahin M. Altun G. Distal Radius kırıkları; Bölüm 2: Cerrahi Tıp Bilimlerinde Tanı ve Tedavi Yöntemleri. 2. Basım. Erkinüresin T. & Akalın Y. (Ed) Lyon: Livre de Lyon; 2021. pp. 21-50.
3. GBD 2019 Fracture Collaborators. Global, regional, and national burden of bone fractures in 204 countries and territories, 1990-2019: a systematic analysis from the Global Burden of Disease Study 2019. *Lancet Healthy Longev.* 2021;2(9):e580-e592. doi:10.1016/S2666-7568(21)00172-0
4. Mauck BM, Swigler CW. Evidence-Based Review of Distal Radius Fractures. *Orthop Clin North Am.* 2018;49(2):211-222. doi:10.1016/j.ocl.2017.12.001
5. Reid SA, Andersen JM, Vicenzino B. Adding mobilisation with movement to exercise and advice hastens the improvement in range, pain and function after non-operative cast immobilisation for distal radius fracture: a multicentre, randomised trial. *J Physiother.* 2020;66(2):105-112. doi:10.1016/j.jphys.2020.03.010
6. Bergh C, Wennergren D, Möller M, Brisby H. Fracture incidence in adults in relation to age and gender: A study of 27,169 fractures in the Swedish Fracture Register in a well-defined catchment area. *PLoS One.* 2020;15(12):e0244291. Published 2020 Dec 21. doi:10.1371/journal.pone.0244291
7. Silman AJ. Risk factors for Colles' fracture in men and women: results from the European Prospective Osteoporosis Study [published correction appears in *Osteoporos Int.* 2004 Nov;15(11):927]. *Osteoporos Int.* 2003;14(3):213-218. doi:10.1007/s00198-002-1364-1
8. Shapiro LM, Kamal RN; Management of Distal Radius Fractures Work Group; Nonvoting Clinical Contributor; Nonvoting Oversight Chairs; Staff of the American Academy of Orthopaedic Surgeons and the American Society for Surgery of the Hand. Distal Radius Fracture Clinical Practice Guidelines-Updates and Clinical Implications. *J Hand Surg Am.* 2021;46(9):807-811. doi:10.1016/j.jhsa.2021.07.014
9. Holbrook HS, Doering TA, Mauck BM. Common Complications of Distal Radial Fractures. Vol. 52, *Orthopedic Clinics of North America.* W.B. Saunders; 2021. p. 241-50.
10. Handoll HH, Elliott J. Rehabilitation for distal radial fractures in adults. *Cochrane Database Syst Rev.* 2015;2015(9):CD003324. Published 2015 Sep 25. doi:10.1002/14651858.CD003324.pub3
11. Chung KC, Malay S, Shauver MJ. The Relationship between Hand Therapy and Long-Term Outcomes after Distal Radius Fracture in Older Adults: Evidence from the Randomized Wrist and Radius Injury Surgical Trial. *Plast Reconstr Surg.* 2019 Aug 1;144(2):230E-237E.
12. Lichtman DM, Bindra RR, Boyer MI, et al. American Academy of Orthopaedic Surgeons clinical practice guideline on: the treatment of distal radius fractures. *J Bone Joint Surg Am.* 2011;93(8):775-778. doi:10.2106/JBJS.938ebo
13. Cancio JM, Sgromolo NM, Rhee PC. Blood Flow Restriction Therapy after Closed Treatment of Distal Radius Fractures. *J Wrist Surg.* 2019 Aug;08(04):288-94.
14. American College of Sports Medicine. American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc.* 2009;41(3):687-708. doi:10.1249/MSS.0b013e3181915670
15. Hwang PS, Willoughby DS. Mechanisms behind blood flow-restricted training and its effect toward muscle growth. Vol. 33,

- Journal of Strength and Conditioning Research. NSCA National Strength and Conditioning Association; 2019. p. S167–79.
16. Erickson LN, Lucas KCH, Davis KA, et al. Effect of Blood Flow Restriction Training on Quadriceps Muscle Strength, Morphology, Physiology, and Knee Biomechanics Before and After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Protocol for a Randomized Clinical Trial. *Phys Ther.* 2019;99(8):1010-1019. doi:10.1093/ptj/pzz062
 17. Tegtbur U, Haufe S, Busse MW. Anwendung und Effekte des „blood flow restriction training“ [Application and effects of blood flow restriction training]. *Unfallchirurg.* 2020;123(3):170-175. doi:10.1007/s00113-020-00774-x
 18. Hughes L, Paton B, Rosenblatt B, Gissane C, Patterson SD. Blood flow restriction training in clinical musculoskeletal rehabilitation: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med.* 2017;51(13):1003-1011. doi:10.1136/bjsports-2016-097071
 19. Sgromolo NM, Cancio JM, Rhee PC. Safety and Efficacy of Blood Flow Restriction Therapy after Operative Management of Distal Radius Fractures: A Randomized Controlled Study. *J Wrist Surg.* 2020 Aug;09(04):345–52.
 20. Ochen Y, Peek J, van der Velde D, Beerers FJP, van Heijl M, Groenwold RHH, et al. Operative vs Nonoperative Treatment of Distal Radius Fractures in Adults: A Systematic Review and Meta-analysis. *JAMA Netw Open.* 2020 Apr 23;3(4).
 21. Kilgore ML, Morrissey MA, Becker DJ, et al. Health care expenditures associated with skeletal fractures among Medicare beneficiaries, 1999-2005. *J Bone Miner Res.* 2009;24(12):2050-2055. doi:10.1359/jbmr.090523
 22. Moore CM, Leonardi-Bee J. The prevalence of pain and disability one year post fracture of the distal radius in a UK population: a cross sectional survey. *BMC Musculoskelet Disord.* 2008;9:129. Published 2008 Sep 29. doi:10.1186/1471-2474-9-129
 23. Dewan N, MacDermid JC, Packham T. Role of Self-Efficacy Based Model of Intervention: Learn Approach in Rehabilitation of Distal Radius Fracture. *Journal of Clinical Densitometry.* 2014 Jul;17(3):428–9.
 24. Patterson SD, Hughes L, Warmington S, et al. Blood Flow Restriction Exercise: Considerations of Methodology, Application, and Safety [published correction appears in *Front Physiol.* 2019 Oct 22;10:1332]. *Front Physiol.* 2019;10:533. Published 2019 May 15. doi:10.3389/fphys.2019.00533
 25. Beekley, M. D., Sato, Y., & Abe, T. (2005). *KAATSU-walk training increases serum bone-specific alkaline phosphatase in young men. International Journal of KAATSU Training Research, 1(2), 77–81.* doi:10.3806/ijktr.1.77
 26. Kim, S., Sherk, V.D., Bembem, M.G., & Bembem, D.A. (2012). Effects of Short Term Low Intensity Resistance Training with Blood Flow Restriction on Bone Markers and Muscle Cross-Sectional Area in Young Men. *International journal of exercise science, 5, 6.*
 27. Loenneke JP, Young KC, Wilson JM, Andersen JC. Rehabilitation of an osteochondral fracture using blood flow restricted exercise: A case review. *J Bodyw Mov Ther.* 2013 Jan;17(1):42–5.
 28. Karabulut M, Bembem DA, Sherk VD, Anderson MA, Abe T, Michael GB. Effects of high-intensity resistance training and low-intensity resistance training with vascular restriction on bone markers in older men. *Eur J Appl Physiol.* 2011 Aug;111(8):1659–67.
 29. Kelly PJ, Bronk JT. Venous pressure and bone formation. *Microvasc Res.* 1990;39(3):364-375. doi:10.1016/0026-2862(90)90049-w
 30. Zhang XZ, Xie WQ, Chen L, et al. Blood Flow Restriction Training for the

- Intervention of Sarcopenia: Current Stage and Future Perspective. *Front Med (Lausanne)*. 2022;9:894996. Published 2022 Jun 13. doi:10.3389/fmed.2022.894996
31. Minniti MC, Statkevich AP, Kelly RL, et al. The Safety of Blood Flow Restriction Training as a Therapeutic Intervention for Patients With Musculoskeletal Disorders: A Systematic Review. *Am J Sports Med*. 2020;48(7):1773-1785. doi:10.1177/0363546519882652
32. Yasuda T, Fukumura K, Uchida Y, et al. Effects of Low-Load, Elastic Band Resistance Training Combined With Blood Flow Restriction on Muscle Size and Arterial Stiffness in Older Adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2015;70(8):950-958. doi:10.1093/gerona/glu084
33. Larsen P, Platzer OJ, Lollesgaard L, et al. Blood-flow restricted exercise following ankle fractures- A feasibility study. *Foot Ankle Surg*. 2022;28(6):726-731. doi:10.1016/j.fas.2021.08.010