



Kan Akışı Kısıtlama Antrenmanlarında Manşon Basıncının Etkisinin İncelenmesi

Öğr. Gör. Hüsnü KOCAMAN¹

¹Gazi Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, Ankara, TÜRKİYE
Orcid:0000-0003-1162-8293 e-mail: husnu.kocaman@gazi.edu.tr

Prof. Dr. Latif AYDOS²

²Gazi Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, Ankara, TÜRKİYE
Orcid: 0000-0002-1378-2537 e-mail: aydos@gazi.edu.tr

Özet

Kasall hipertrofiyi ve kas kuvvetini artırabilmek için uygulanan yöntemlerden biri olan kan akışı kısıtlama antrenmanlarının, son yıllarda yapılan bilimsel araştırmalar tarafından ortaya koymuş olduğu bulgular ışığında popülerliğini artırdığı görülmektedir. Yüksek şiddetli uygulanan direnç egzersizlerinin kas hipertrofisinde ve kas kuvvetinde artışa sebep olduğu yadsınamaz bir gerçektir. Bununla birlikte yüksek şiddetten dolayı yaralanma riskleride artırdığı görülmektedir. Diğer taraftan düşük şiddetli direnç egzersizleri kas kuvvetinin ve kas hipertrofisinin oluşmasında mekanik gerilim ve metabolik birikim açısından yeterli etkiyi oluşturamamaktadır. Bu noktada düşük şiddetli uygulanan kan akışı kısıtlamalı direnç egzersizleri ile yüksek şiddetli doğabilecek yaralanma riskleri en aza indirilebilmektedir. Kısıtlama ile venöz dolaşımda meydana gelen azalmanın bir sonucu olarak oluşan metabolik birikimin kas hipertrofisine etkisi artmaktadır. Kan akışı kısıtlamalı direnç egzersizlerinin yaygınlığı arttıkça manşon basınçlarının mmhg olarak belirlenen seviyelerinde de tutarsızlıklar ortaya çıkmaktadır. Bu kısa derleme, kan akışı kısıtlama antrenmanlarının uygulanma prensiplerini açıklayarak uygulama esnasında kullanılan manşon basınçlarının belirlenebilmesi için literatürün kısa bir özetini sunmayı amaçlamaktadır. Kan akışı kısıtlama ile ilgili ilk araştırmalar sabit basınç uygularken gelişen teknolojiyle birlikte üretilen cihazlar sayesinde güncel çalışmalar kişiye özgü manşon basınçları uygulayarak farklı bulgular ortaya koymaktadır. Manşon basınçları 50-300 mm Hg arasında bireysel farklılıklara göre değişiklik göstermektedir. Manşon basıncına etki eden yumuşak doku miktarı, yağ yüzdesi, uygulanan uzvun çevre uzunluğu gibi bireysel farklılıklar istenen sonuca ulaşılabilmesi için göz önüne alınması gereken etmenlerdendir.

Anahtar kelimeler: Manşet genişliği, manşon basıncı, kan akışı kısıtlama.

Examining the Effect of Cuff Pressure in Blood Flow Restriction Training

Abstract

Blood flow restriction training, which is one of the methods applied to enhance muscle hypertrophy and strength, has gained popularity in light of the findings revealed by recent scientific research. It is an undeniable fact that high-intensity resistance exercises contribute to an increase in muscle hypertrophy and strength. However, it has been observed that these exercises also elevate the risk of injury due to their high intensity. On the other hand, low-intensity resistance exercises do not provide sufficient mechanical tension and metabolic accumulation necessary for the development of muscle strength and hypertrophy. At this point, low-intensity blood flow restriction resistance exercises can minimize the potential risks of high-intensity exercises. The reduction in venous circulation caused by the restriction leads to an increased impact of metabolic accumulation on muscle hypertrophy. As the prevalence of blood flow restriction resistance exercises increases, inconsistencies arise in the recommended levels of cuff pressures measured in mmHg. This brief compilation aims to present a concise overview of the literature, explaining the principles of blood flow restriction training and providing insights into determining the cuff pressures used during the application. Initial research on blood flow restriction employed fixed pressures, but with advancements in technology, contemporary studies demonstrate diverse outcomes by applying individualized cuff pressures based on factors such as soft tissue volume, body fat percentage, and limb circumference. Cuff pressures vary between 50-300 mm Hg depending on individual differences. These individual differences should be considered for achieving the desired results.

Keywords: Cuff width, cuff pressures, blood flow restriction

Sorumlu yazar: Öğr. Gör. Hüsnü KOCAMAN, **E-posta:** husnu.kocaman@gazi.edu.tr

GİRİŞ

Güç seviyesini korumak veya spor performansını artırmak için yapılan egzersizlerin temelini direnç egzersizleri oluşturmaktadır. Kas ve sinir koordinasyonunu uyararak etkili bir şekilde güç artışı sağlayan yüksek yoğunluklu yüklenmeler, antrenman prensiplerinin önemli bir parçasıdır (Fry vd., 1991). Direnç egzersizleri veya kuvvet antrenmanları, sağlıklı yetişkin bireyler için egzersiz programlarının en öncelikli yöntemleridir (Ratamess vd., 2009). Popülerliğini her geçen yıl artıran kan akışı kısıtlama antrenmanlarının ilk bilimsel çalışmaları 1990' lı yıllarda ortaya koyulmuş olsa da; ilk olarak 1966 yılında Yoshiaki Sato tarafından "Kaatsu Tekniği" olarak kullanılmıştır. "Kaatsu" terimi, Japonca'da "eklenmiş basınç" anlamına gelir. Bu yöntem, Japonya'da geleneksel bir egzersiz tekniği olarak kullanılan, damar basıncının kontrollü bir şekilde kısıtlanmasıyla yapılan kuvvet antrenmanlarından esinlenerek geliştirilmiştir. (Sato vd., 2005). Ekstremitelerin kan akışını kısıtlamak için elastik bantlar veya basıncı ayarlanabilir manşonlar (tansiyon aleti manşeti) kullanılmaktadır (Kaijser vd., 1990; Mouser vd., 2017; Sato, 2005; Shinohara vd., 1998). Kaatsu tekniğinde kan akışı kısıtlamasının yanı sıra antrenman yükü olarak düşük şiddet uygulanmıştır (Abe vd., 2006). Bu antrenman yaklaşımında 1 maksimum tekrarın % 20-30'u ile set başına 15-30 arası tekrarlardan oluşan düşük yük dirençlerinin kullanılması ile önemli derecede hipertrofi ve güç kazanımının oluşacağı bildirilmiştir (Burgomaster vd., 2003; Loenneke vd., 2015; Lorenz vd., 2021; Takarada vd., 2000). Kan akışı kısıtlaması uygulanan egzersizler ile aynı şiddet seviyesinde kısıtlama olmadan uygulanan egzersizleri içeren araştırmaların sayısının giderek arttığı görülmektedir. Bu araştırmaların ortaya koyduğu bulgular kan akışı kısıtlama uygulamasının daha fazla kas kütlesi sağladığını göstermektedir (Pope vd., 2013; Scott vd., 2015). Teknolojinin gelişmesiyle üretilen yeni cihazlar sayesinde manşon basınçları kişiye özel manşon olarak ayarlanabilmektedir. Dolayısıyla literatürde yer alan her katılımcı için sabit manşon basıncı uygulamış olan çalışmaların ortaya koymuş olduğu birbirinden farklı sonuçlara da açıklık getirileceği düşünülmektedir (Fahs vd., 2012). Kişilerin bireysel özelliklerine, fizyolojik durumlarına ve manşonların boyutlarına göre arteriyel oklüzyon basınçları (AOP); yani ekstremitenin kan akışının kısıtlanması için kullanılan basınç oranı değişiklikler gösterebilmektedir (Hunt vd., 2016; Jessee vd., 2016). Kan akışını kısıtlamak için farklı genişlikte manşonlar kullanılmaktadır. Manşonların genişliği 3 cm' den başlayıp 18 cm' ye kadar çıkabilmektedir (Jessee vd., 2017). Geniş manşonlar için daha az basınç gerekirken; dar manşonlar için daha fazla basınç gerektiği bilinmektedir. Kan akışı kısıtlama uygulamalarında üst ekstremiteler için ihtiyaç duyulan oklüzyon basıncının %30-50 aralığında olması önerilirken; alt ekstremiteler için bu basınç oranının %80' e kadar çıkarılması önerilmektedir. Fizik tedavi ve rehabilitasyon amacıyla yaygın bir şekilde kullanılsa da; herhangi bir sağlık

sorunu olan bireylere hekim veya sağlık personeli tarafından uygulanmasına dikkat edilmelidir (Nakajima vd., 2006). Kan akışı kısıtlama antrenman; yaşlılarda, sağlıklı bireylerde, yüksek şiddetli antrenmanların neden olduğu yaralanmaya maruz kalmış sporcularda alternatif olarak kas kuvvetini geliştirmek için tercih edilebilmektedir (Kamış ve Aydos, 2022).

Direnç Antrenmanlarının Kas Dokusu Üzerine Etkisi

Spor bilimciler ve uygulayıcılar bir sporcunun genetik özelliklerini manipüle edemezken, bir sporcunun mutlak ve göreceli kas gücü düzenli kuvvet antrenmanı ile geliştirilebilir. Kas gücü, harici bir nesne veya direnç üzerinde kuvvet uygulama yeteneği olarak tanımlanmıştır (Stone,1993; Siff, 2000). Yağsız vücut kütlelerini artırma arayışı, ağırlık antrenman uygulayıcıları tarafından yaygın olarak takip edilmektedir. Kas kesit alanı ile kas gücü arasındaki güçlü korelasyon göz önüne alındığında (111), kas kütlelerini artırmak futbol, rugby ve powerlifting gibi güç ve kuvvet sporlarıyla uğraşan sporcuların birincil hedefinde yer almaktadır (Maughan vd., 1983). Antrenmansız kişilerde kas hipertrofisi neredeyse direnç antrenmanının ilk aşamalarında mevcut olmamakla beraber güç kazanımlarının çoğunluğu nöral adaptasyondan kaynaklanmaktadır (Mulligan vd., 1996). Ancak direnç antrenman programının süreci içerisinde birkaç ay içinde, hipertrofi baskın hale gelmeye başlamaktadır. Üst ekstremitelerin hipertrofisi alt ekstremitelerden daha önce etken hale gelmektedir (Tesch, 1988). Yaygın olarak egzersize bağlı kas hasarı, öncelikle alışılmamış egzersiz performansından kaynaklanmaktadır. Egzersizin şiddeti, türü, yoğunluğu ve süresine bağlı olarak kas hasarının etkisi değişim göstermektedir (Malm, 2001). Kas hasarı; kas dokunun sadece birkaç makromolekülüne özgü olabilir veya sarkolemma, bazal lamina ve destekleyici bağ dokusunda büyük yırtıklara yol açabilir. Ayrıca kasılma elemanlarında ve hücre iskeletine de etki edebilmektedir (Vierck vd., 2000). Kas hasarı izometrik (gerilim artarken kas lifi boyunun stabil olması) ve konsantrik (gerilim artarken kas lifi boyunun kısalması) kasılmaların yer aldığı egzersizlerde kas hasarı görülmeyle birlikte eksantrik (gerilim artarken kas lifi boyunun uzaması) kasılmaların etkin olduğu egzersizlerde daha yoğun göze çarpmaktadır (Clarkson vd., 1986; Gibala vd., 1995). Hızlı kasılan lifler eksantrik olarak indüklenen hasara karşı yavaş kasılan liflere göre daha savunmasızdır (Vijayan vd., 2001). Olası nedenler oksidatif kapasitenin azalması, daha yüksek gerilim seviyeleri ve egzersiz sırasında oluşan lif fenotipleri arasındaki yapısal farklılıklardır (Proske ve Morgan, 2001). İskelet kaslarının adaptasyonu egzersiz türüne özgüdür. Yüksek şiddetli egzersiz, kas hipertrofisi ve kas gücünde artışla sonuçlanır ve bunu pik egzersiz kapasitesinde artış izlemektedir. DeLorme'nin klasik çalışmasında, direnç antrenmanı programının düşük tekrar/yüksek direnç kullanımı kuvvet/güç adaptasyonunu desteklerken, düşük tekrar/yüksek direnç altında kas dayanıklılığını artırmıştır. Genel olarak, direnç egzersizi yüksek şiddetli olduğunda (1- Maksimum tekrarın yaklaşık

%80'i) kas boyutunu ve gücünü artırmak için optimal kabul edilir. Diğer yandan, 1 maksimum tekrarın %65'ten daha düşük şiddette direnç egzersizi kas boyutunu ve gücünü artırmada neredeyse etkisiz olduğunu, ancak kas oksidatif kapasitesini artırdığı bilinmektedir (DeLorme, 1945; McDonagh ve Davies, 1984).

Kan Akışı Kısıtlama Uygulaması ve Fizyolojik Etkileri

Egzersizden kaynaklanan kassal adaptasyonlar; mekanik gerilim, kas hasarı ve metabolik stresin birleşik etkisinden kaynaklanmaktadır (Schoenfeld, 2010). İskelet kası, egzersizin neden olduğu metabolik homeostazdaki değişikliklere yanıt olarak hızla adapte olabilen plastik bir dokudur (Baar, 2006). Egzersizin kas hücrelerine en belirgin etkisi hipertrofi olarak göze çarpmaktadır. Kas kuvvetini artırmak ve kassal hipertrofiyi geliştirmek amaçlandığında ortak görüş olarak kabul edilen Amerikan Spor Hekimliği Koleji' nin (ASCM) ortaya koyduğu bulgular, hipertrofinin oluşabilmesi için maksimal kuvvetin %70' inden daha yüksek ağırlıklarla çalışılması gerektiğini önermektedir (Ratamess et al., 2009). Kassal hipertrofi, kas büyümesini olumlu yönde etkileyen hormonlar ve büyüme faktörleri tarafından tetiklenen mekanik sinyallerle gerçekleşen bir dizi süreçten oluşmaktadır. Bu süreçler mTORC1, MEF2, SRF, PGC1 gibi çeşitli hücre içi bilgi akışına dahil olan; protein sentezi, ribozomal biyogenez, miyofiberlerin büyümesi, uydu hücre çoğalması gibi metabolik faaliyetleri içermektedir (Schiaffino vd., 2021). Yasuda ve arkadaşları tarafından yapılmış olan, düşük şiddetli kan akışı kısıtlama antrenmanlarını içeren bir araştırma; kasta yorgunluğun oluşmasıyla harekete katılan tip 2 fibrillerde daha fazla kas aktivasyonu ve kesit alanında artış olduğunu ortaya koymaktadır. Bununla birlikte kas glikojen miktarının azaldığını ve fosfokreatin düzeylerinin düştüğünü bulgulamışlardır. Bu bilgiler ışığında kan akışı kısıtlama antrenmanlarının tip 2 fibrillerde kassal hipertrofi artışı ve kuvvet artışı açısından daha etkili olduğu söylenebilir (T. Yasuda vd., 2005). Direnç antrenmanlarına cevap olarak; hızlı kasılan kas lifleri olan tip 2'lerin, yavaş kasılan kas lifleri olan tip 1'lere göre daha fazla kassal hipertrofi oluşturduğu bilinmektedir (Kosek vd., 2006; McCall vd., 1996). Kas lifleri, bir dirençle karşılaştığında motor ünite boyutlarına bağlı olarak kasılmaya başlar. İlk olarak küçük boyutlu kas lifleri, daha sonra ise daha büyük boyutlu kas lifleri kasılma sürecine katılır. Henneman' ın ortaya koyduğu bu prensibe göre; tip 1 lifler motor ünite boyutları daha küçük olduğu için kasılmaya katılan ilk kas lifleridir. Ardından tip 2 liflerin katılabilmesi için egzersiz yoğunluğunun ve şiddetinin artırılması gerekmektedir (Henneman vd., 1965). Schoenfeld ve arkadaşları yapmış olduğu meta analiz çalışmasında şiddet yüksek de olsa düşük de olsa kassal hipertrofi açısından artışlara sebep olabileceğini, fakat yüksek şiddetlerle yapılan direnç antrenmanlarının düşük şiddetle yapılan antrenmanlara göre daha fazla kassal hipertrofi sağlayacağını belirtmişlerdir (Schoenfeld vd., 2016). Egzersiz sırasında kan akışı kısıtlamasının uygulanmasının arkasındaki ilk gerekçe, esasen afferent geri bildirim yoluyla nöromüsküler aktiviteyi değiştirebilecek bir

metabolik ortam oluşturulmasıdır (Abe vd., 2006). Kan akışı kısıtlamalı egzersizlerde kas değişikliklerinin, kan akışı kısıtlaması olmadan yapılan aynı yüklenme şiddetine sahip egzersizden daha fazla kas aktivasyonu, yorgunluk ve anabolik sinyalleşmeden kaynaklanan metabolit birikiminin ve hipoksik ortamın dolaylı etkisi yoluyla meydana geldiğini öne sürülmektedir (Jessee vd., 2018; Pearson ve Hussain, 2015). Shinohara ve arkadaşları tarafından yapılan ilk araştırmadan bu yana, kan akışı kısıtlaması uygulamasının sadece iskelet kası boyutunu ve gücünü artırmakla kalmadığı, aynı zamanda muhtemelen olumlu vasküler ve kemik adaptasyonlarına da neden olduğu gösterilmiştir (Abe vd., 2010; Aguayo vd., 2016; Allen ve Trajanovska, 2012; Barnett vd., 2016; Bellamy vd., 2014; Beyer vd., 2016). Kan akışı kısıtlama antrenmanında (BFR) görülen yaygın yan etkiler arasında; egzersiz sırasında ağrı veya rahatsızlık, gecikmiş kas ağrısı (DOMS) ve kardiyak stres (artmış kalp hızı, artmış kan basıncı, azalmış atım hacmi) bulunurken, daha ciddi ve az az yaygın yan etkiler arasında; uyuşma veya sinir hasarı, morarma veya iskemik hasar, baş dönmesi veya bayılma, trombüs oluşumu, kas hasarı ve rabdomiyoliz (kas dokusundaki hasara bağlı iskelet kası dokusunda meydana gelen ani bozulma) yer alır (Anderson vd., 2019; Patterson vd., 2019). Kan akışı kısıtlamalı direnç egzersizi; ilk set 30 tekrardan, ikinci, üçüncü ve dördüncü setler 15' er tekrardan oluşmaktadır ve setler arasında 30–45 saniye dinlenmeleri kullanan yüksek hacimli bir antrenman yöntemi içermektedir. Bu yöntemle kastaki somatotropin olarak bilinen büyüme hormonu uyarılarak daha fazla metabolik birikime sebep olmaktadır. Bununla birlikte hızlı bir kassal hipertrofi ve kas kuvvetinde artış amaçlanmaktadır (Manini & Clark, 2009). Kas kütleindeki artış açısından Amerikan Spor Hekimliği Koleji'nin hipertrofiye ilişkin önerisi olan yüksek yoğunluklu (1-RM'nin %70'i) yöntemi ile ,düşük yoğunluklu (1-RM'nin %20-50'si) kan akışı kısıtlamalı direnç egzersizi yöntemi arasında benzer bulgular olduğu görülmektedir (Lixandrao vd., 2018). Kan akışı kısıtlamalı egzersizler söz konusu olduğunda alt ekstremiteler üzerinde yapılan araştırmaların sayısı üst ekstremiteye göre daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun sebeplerinden birinin; uygulamanın bacak kaslarına daha rahat yapılabilmesi olduğu düşünülmektedir. Diğer taraftan üst ekstremitede göğüs ve omuz bölgelerinde kan akışı kısıtlama uygulaması kolay değildir (Loenneke vd., 2012). Kan akışı kısıtlama çalışmalarında önde gelen araştırmacılardan Loenneke ile Abe' nin 2016 yılında yayınlamış olduğu bir çalışma kan akışı kısıtlama ile yapılan egzersiz ve antrenmanların, uzuvların anatomik pozisyonlarından bağımsız olarak farklı kas gruplarının kesitini ve kuvvetini artırabildiğini ortaya koymuştur. Bununla birlikte üst ekstremitede için tekrar sayısının fazla olmasının daha etkili olduğu vurgulanmış ve manşon basıncının düşük yüzdelerde seçilmesini önermiştir (Dankel vd., 2016). Kan akışı kısıtlama uygulanırken sonuçların objektif olabilmesi ve basıncın katılımcıları rahatsız etmemesi için en önemli unsur oklüzyon (aop) basıncıdır. Literatüre önemli katkı sağlayan meta analiz çalışmaları ile sistematik derleme

çalışmaları incelendiğinde, alt vücut için uygulanan basıncın 140-240 mmhg, üst vücut için uygulanan basıncın 100-160 mmhg arasında olduğu görülmekle birlikte, sabit basınç uygulamaları, farklı manşet genişliklerinden ve manşetin farklı malzemeden yapılmasından kaynaklı olarak ortaya tutarsız kısıtlama oranları çıkarabilmektedir. Bu sebeple çalışmanın sonucunu ve kassal hipertrofik cevapları olumsuz etkileyebilmektedir (Fahs vd., 2012).

Manşon Basınçlarının Belirlenmesi ve Etkileri

Manşon basınçlarında keyfi baskıların etkisine yönelik literatür incelendiğinde, bireysel farklılıklardan bağımsız olarak her katılımcıya aynı BFR baskısının uygulanması yaygındır (Fahs ve diğerleri, 2012). Bununla birlikte literatür, uygulanan basıncın büyük ölçüde uyarıyı uygulayan manşetin genişliğine ve ayrıca uyarının uygulandığı uzvun boyutuna bağlı olması gerektiğini ileri sürmektedir (Shaw ve Murray, 1982; Younger vd., 2004; Loenneke vd., 2012b). Araştırmalar manşet boyutunu ve/veya uzuv boyutunda kişiler arası farklılıkları göz ardı ettiğinde ve literatürde daha önce kullanılan baskıları uyguladığında, bu yalnızca müdahalenin etkinliğini azaltmakla kalmayıp aynı zamanda bir güvenlik endişesi haline gelebilir (Loenneke vd., 2013). Manşon basıncının tespit edilmesinde venöz oklüzyon pletismografisi ve doppler ultrason kullanımı yaygındır. Venöz oklüzyon pletismografisi, insanlarda vasküler biyolojinin çeşitli alanlarını değerlendirmek için kullanılan yaygın bir tekniktir. Bu teknik, egzersiz başlangıcında kas kan akışının dinamikleri ve zamanlaması, egzersiz sırasında kas kan akışındaki değişikliklerden sorumlu mekanizmalar ve istirahatte kas kan akışının düzenlenmesine katkıda bulunan vazokonstriktör ve vazodilatör maddeler arasındaki denge hakkında kritik bilgiler sağlamaktadır (Joyner ark. 2001). Doppler ultrasonun kullanıma sunulması, belirli bir bölgeye kan sağlayan ana tedarikçiler olan damarlardaki kan hızının sürekli olarak belirlenmesine yönelik bir yöntem sağlamıştır. En yaygın olarak bu teknik, egzersiz sırasında yapılan çalışmalar da dâhil olmak üzere brakial veya femoral arterdeki akışı ölçmek için kullanılmaktadır (Sasaki vd., 2002). Literatür, çoğu durumda elastik sargının BFR antrenmanlarında geleneksel olarak kullanılan pnömatik manşetin yerini alabileceğini göstermektedir (Aniceto ve Leandro, 2022). BFR ile ilgili teorik olarak uygulanan basınç venöz dönüşü tıkayacak kadar yüksek ancak arteriyel girişi sürdürecektir kadar düşük olmalıdır. İskelet kasında arteriyel oklüzyon basıncı 110-140 mm Hg aralığında basınçlar veya ~%50 tahmini anabolik yanıtı en üst düzeye çıkarmak için tercih edilmektedir (Loenneke vd., 2014). Buna rağmen, literatürde, büyük seçilen basınç aralıkları da (50-300 mm Hg) gözlemlenmiş ve bu durumun her katılımcı için bireyselleştirilmelidir (Scott vd., 2015). Kan akışını kısıtlayan (BFR) antrenmanlar, düşük şiddetli egzersizler sırasında kullanılan bir tekniktir. Bu yöntemde, egzersizin uygulandığı uzvun proksimaline yerleştirilen bir manşon, hava ile sıkıştırılmakta ve bu sayede egzersiz esnasında çalışan kaslara giden arteriyel kan akışı ile venöz kan akışı azaltılmaktadır (Manini & Clark, 2009). BFR protokolleri, manşon

basınçlarının uygulanmasında değişiklik göstermektedir. Daha önceki BFR çalışmalarında mutlak basınçlar (250 mmHg) kullanılırken, son çalışmalar yalnızca her bireyin brakial sistolik kan basıncına dayalı olarak göreceli basınçlar belirlemiştir (Clark vd., 2011; Sumide vd., 2009; Y. Takarada vd., 2000). Manşonların uygulamalarında dar veya geniş olarak tercih edilmektedir. Ancak kan akışını kısıtlamalı antrenmanda, dar ve geniş manşon kullanımının güç ve kas boyutunda benzer etki sağladığı görülmektedir (Mouser vd., 2017). Daha dar bir manşonun tercih edilmesinde arteriyel oklüzyon elde etmek için daha yüksek bir basınç seviyesi gerektirdiğini ve nörolojik yaralanmanın en sık olarak, basınç gradyanının en yüksek olduğu turnike kenarında meydana geldiğini ifade etmektedirler (Noordin vd., 2009). Daha geniş bir manşetin daha dar bir manşete göre daha düşük basınçta arteriyel oklüzyon sağlayabileceğini ve katılımcının güvenliği için tercih edilebilmektedir. Kan akışını kısıtlayan (BFR) antrenmanların gelişimine bağlı olarak otomatik basınç ayarlı manşonlar firmalar tarafından üretilmiştir (Lorenz vd., 2021). Manşetin basıncını belirlemek için en yaygın 5 yöntem, rastgele basınç seçimi (örneğin, 150-200 mm Hg), sistolik kan basıncının bir yüzdesi (örneğin, %130 sistolik), bacak ya da kol çevresi, kol ve bacaklarda gerginlik yoğunluk skalası veya arteriyel oklüzyon basıncı yüzdesidir (Anderson vd., 2019; Mouser vd., 2017). Genel olarak, arteriyel oklüzyon basıncının %40-80'i, potansiyel komplikasyon riskini en aza indirirken kan akışını kısıtlamalı antrenmanların hedeflerine ulaşma olasılığının en yüksek olduğu aralık olarak önerilir (Scott vd., 2015). Oklüzyon basıncını etkileyen etmenler değerlendirilmesi gerekmektedir. Sistolik kan basıncı, diyastolik kan basıncı, kol ve bacak çevresi, cinsiyet ve ırk gibi sabit faktörlerin hepsinin arteriyel oklüzyon basıncını etkilediği gösterilmiştir (Jessee vd., 2016). Vücut pozisyonu ve manşet genişliği gibi değiştirilebilir faktörler de oklüzyon basıncını etkiler (Hughes vd., 2018; Sieljacks vd., 2018). Bir antrenman etkisini elde etmek için mümkün olan en düşük basıncı kullanmak, en güvenli BFR antrenman uygulaması olarak kabul edilir (Mattocks vd., 2017; Shaw & Murray, 1982). Ek olarak daha az stres oluşturduğu için düşük basınç avantajlı görülmektedir. Bununla birlikte, %40 AOP gibi düşük manşon basınçlarının uygulanmasının, %70 AOP gibi daha yüksek manşon basınçlarıyla benzer şekilde kan akışında bir azalmaya yol açıp açmadığı konusu tartışmalıdır. Üst ekstremitede kola manşon oklüzyonu uygulandığında elde edilen veriler, oklüzyon basıncı ile kan akışı arasındaki ilişkinin doğrusal olmadığını ve %40 lık basınçların, neredeyse kan akışı kısıtlamada daha yüksek basınçlar kadar etkili olduğunu göstermektedir (Mouser vd., 2017). Sonuç olarak, Mouser ve arkadaşları, manşon basıncını daha rahatlatıcı veya düşük basınçlara indirmenin kan akışı üzerinde az bir etkisi olduğunu bildirmişlerdir. Ancak, %80 AOP'den başlayarak belirli bir noktaya kadar (yaklaşık %20 ila %40 AOP arasında), %AOP'deki küçük azalmalar bile brakial arterde büyük ölçüde kan akışında artışa neden olabilmektedir. İlginç bir şekilde, bacaklara uygulanan manşon basıncıyla yapılan benzer bir

çalışma ise %AOP ile akış arasında doğrusal bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur. Bununla birlikte, görsel olarak doğrusal olmayan grafiklere rağmen, bacaklardaki oklüzyon basıncı (AOP) ve kan akışı arasındaki ilişki tam olarak açık değildir (J. Grant Mouser vd., 2018). Belirtildiği gibi, bacaklardaki kan akışı ile manşon basıncı arasındaki ilişki doğrusal ise, egzersizle ilişkili kan basıncındaki artış, kan akışı kısıtlamasının (BFR) büyüklüğüne veya egzersiz sırasındaki doku iskemisine önemli ölçüde etki edebilir (Mouser et al., 2017; J. G. Mouser vd., 2018). Buna benzer olarak, Barnett ve arkadaşları, egzersizden önce ve hemen sonra arteriyel oklüzyon basıncını (AOP) ölçmüş ve egzersizle birlikte AOP'yi oluşturmak için gereken basıncın arttığını bulmuşlardır. Öyle ki, egzersiz öncesi ölçülen AOP'nin %40'ına denk gelen bir basınç, egzersiz sonrası ölçülen AOP'nin yalnızca %32'sine denk gelmektedir. Eğer manşon basıncı bacaklardaki kan akışıyla doğrusal bir ilişki gösteriyorsa, %AOP'deki bu azalma, manşon basıncı aynı kalmış olsa bile, egzersiz sırasında öngörülen oklüzyon basınç aralığının altına düşebilecek potansiyel bir sorun oluşturabilir ve bu da BFR etkisinin istenen sonuçlarını sınırlayabilir (Mouser vd., 2017; Patterson vd., 2019). Yumuşak doku miktarı ne kadar fazla olursa derinde bulunan damarları kısıtlamak için daha fazla basınca ihtiyaç duyulmaktadır. Kan akışı kısıtlamayı bireyselleştirebilmek için kişiye özgü uygulanan manşet basınçları bireysel farklılıklar ile manşet genişliklerini hesaba katarak oluşabilecek farklılıkları ve tutarsızlıkları en aza indirebilir (J. Grant Mouser vd., 2018; Shaw & Murray, 1982).

Kan Akışı Kısıtlamalı ve Kan Akışı Kısıtlamasız Uygulama Değerlendirmeleri

Birçok araştırma düşük şiddetli direnç antrenmanı ile kan akışı kısıtlamalı olarak uygulanan düşük şiddetli direnç antrenmanı arasında; kısıtlamalı antrenmanın daha fazla kassal hipertrofi ortaya koyabileceğini belirtmektedir. Ayrıca yüksek şiddetli direnç antrenmanlarının düşük şiddetli kan akışı kısıtlamalı antrenmanlarla benzer kassal hipertrofi meydana getireceğini öne sürmektedir. Kassal hipertrofiyle ilgili bu bulgular sağlıklı gençlerde ve yaşlılarda yapılan uygulamalar sonucunda ortaya koyulmuştur. Bununla birlikte yaralanmalardan sonra uygulanan kan akışı kısıtlamaları ile rehabilitasyon süreçlerinde etkili sonuçlar alınmıştır (Abe et al., 2005; Centner vd., 2019; Hughes vd., 2017; Loenneke vd., 2012; Yudai vd., 2002; Y. Takarada vd., 2000). Düşük şiddetli (1-RM'nin %30'u) kan akışı kısıtlamalı olarak uygulanan bench press antrenmanını 2 hafta boyunca haftada 6 kez ve günde 2 kez BFR protokolüne göre uygulayan grubun; triceps brachi ve pectoralis majör kas kalınlıkları incelenerek kan akışı kısıtlaması olmayan kontrol grubuna göre değerlendirilmiştir. Bu çalışmayı yürüten Yasuda ve arkadaşları; kan akışı kısıtlamalı grubun kas kalınlıklarında önemli bir artış olduğunu ve kısıtlamasız olarak egzersizi yapan grupta ise artışın önemli olmadığını gözlemlemişlerdir (Tomohiro Yasuda vd., 2010). Alt ekstemiteyi içeren çalışmalardan 21-22 yaş ortalamasına sahip sağlıklı bireyler üzerinde kan akışı kısıtlamalı ve kısıtlamasız olarak iki grup halinde leg extension egzersizi uygulayan Fujita ve arkadaşları; quadriceps kasının kesitinde önemli

ölçüde artışlar olduğunu gözlemlemişlerdir. Kan akışı kısıtlamalı grup, düşük şiddet olarak 1-RM'nin %20'sini BFR protokolüne göre uygulamış, kontrol grubu ise; geleneksel olarak nitelendirilen yüksek şiddetli egzersiz uygulamıştır. 8'er kişilik genç bireylerden oluşan gruplar arasında kan akışı kısıtlamalı grupta önemli ölçüde artış görülürken, kontrol grubunda anlamlı bir gelişim görülmemiştir (Fujita vd., 2008). Diğer taraftan düşük şiddetli kan akışı kısıtlamalı direnç antrenmanları ile yüksek şiddetli direnç antrenmanlarını içeren bir meta analiz Lixandrão tarafından yayınlanmıştır. Meta-analizde yapılan araştırmalar, çalışmaların şiddet seviyelerine göre sınıflandırılmasını sağlamıştır. Düşük şiddetli çalışmalar, 1-RM'nin %50'si kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yüksek şiddetli çalışmalarda ise 1-RM'nin %65'i tercih edilmiştir. İki grup arasındaki farklılıklar incelendiğinde, yüksek şiddetli uygulamaların biraz daha fazla kas kütlesi artışı sağladığı görülmüştür. Bununla birlikte, her iki grupta da benzer şekilde kas kütlesi artışı gözlemlenmiştir (Lixandrao vd., 2018).

Kan Akışı Kısıtlamalı Antrenmanlarında Güvenlik Hususları

Kan akışı kısıtlamalı antrenmanında (BFR) görülen yaygın yan etkiler arasında; egzersiz sırasında ağrı veya rahatsızlık, gecikmiş kas ağrısı (DOMS) ve kardiyak stres (artmış kalp hızı, artmış kan basıncı, azalmış atım hacmi) bulunurken, daha ciddi ve az az yaygın yan etkiler arasında; uyuşma veya sinir hasarı, morarma veya iskemik hasar, baş dönmesi veya bayılma, trombüs oluşumu, kas hasarı ve rabdomiyoliz (kas dokusundaki hasara bağlı iskelet kası dokusunda meydana gelen ani bozulma) yer alır (Anderson vd., 2019; Patterson vd., 2019). Literatürde, daha yüksek düzeydeki turnike basıncının ve turnike manşetlerinin altındaki daha yüksek basınç gradyanlarının, sinirle ilişkili yaralanma riskinin daha yüksek olmasıyla ilişkili olduğu iyi bilinmektedir (Noordin vd., 2009). Kas ödemi egzersizden hemen sonra sürekli olarak artar, Ancak bu ödem zamanla azalır ve genellikle 24-48 saatte başlangıç düzeyine dönmektedir (Thiebaud vd., 2013; Farup vd., 2015). Uygulayıcının düşük riskli bir ortam oluşturması gerekmektedir. Bu durumda, istirahatte ölçülen alt ve üst ekstremitte arteriyel oklüzyon basıncının yüzdesi her bireye özgü tespit edilerek ve cerrahi düzeyde bir turnike manşeti kullanılarak uygulanan bir kısıtlama basınç seviyesi daha güvenli sonuçlar doğurmaktadır (McEwen vd., 2019).

SONUÇ

Düşük şiddetli uygulanan kan akışı kısıtlamalı direnç antrenmanlarının kas kuvveti ve kas hipertrofisi açısından artış meydana getirdiği bilimsel çalışmalar ile desteklenmektedir. Kan akışı kısıtlama antrenmanı kas hipertrofisi açısından yüksek şiddetli antrenmanlar ile benzer etkiler ortaya koysa da, söz konusu kas kuvveti olduğunda sonuçlardaki benzerlik tartışmalıdır. Kan akışı kısıtlamalı direnç egzersizleri uygulamalarında üst ekstremité ve alt ekstremité için kullanılacak olan manşon basınçlarının yüzdesel olarak farklı olduğu belirtilmektedir. Alt ekstremité için %60-80 aralığında üst ekstremité için ise %30-60 aralığında manşon basınçlarını tercih eden araştırmalar mevcuttur. Bu konuda genel kanı ise yüksek basıncın her zaman iyi sonuç vermeyeceğidir. Literatürde BFR protokolü olarak kabul gören toplam 4 set, 30-15-15-15 tekrar sayıları, setler arasında 45-60 saniye, hareketler arasında 1-3 dakika dinlenme olarak uygulanan BFR protokolünün toplam süresinin 20 dakikayı geçmemesi önerilmektedir. Aerobik antrenmanlar, anaerobik antrenmanlar ve dayanıklılık gibi antrenman türlerini içeren uygulamalarda farklı protokoller kullanılmasına rağmen, genel kabul gören bir yöntem haftada iki veya üç kez, 4-6 haftalık bir periyotta uygulanmasıdır. Kan akışı kısıtlama antrenmanları, farklı dinlenme süreleriyle uygulanmakla beraber özellikle squat, deadlift, bench press gibi çok eklemli hareketlerde kullanılmaktadır. Bu tür kullanımlarda, manşon basıncı için doğru aralıkların tercih edilmesi önemlidir. Kan akışı kısıtlama uygulaması tek bir egzersizde veya bir antrenman programı içinde gerçekleştirilebilir. Uygulama esnasında, kişiye özgü arteriyel basınç seviyesinin ayarlanmasında farklılıklar ortaya çıkabilir. Dolayısıyla manşon basıncının belirlenmesinde, kan akışını kısıtlamanın hangi bölge (alt ekstremité, üst ekstremité), hangi uzuv üzerinde ve antrenman programı içinde mi yoksa tek bir egzersiz olarak mı uygulanacağı dikkate alınmalıdır. Ayrıca, yağ yüzdesi ve yumuşak doku miktarı gibi faktörler de basıncı etkileyebileceğinden uygulama esnasında göz önünde bulundurulmalıdır. Elastik sargı kullanımının yer aldığı durumlarda 0-10 algılanan sargı sıklığı ölçeği değerlendirilmelidir.

Çıkar Çatışması: Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyanı:

1.Yazar: %75

2.Yazar: %25

Etik Kurul İzni ile ilgili Bilgiler: Çalışmada etik kurul izni ve/veya yasal ya da özel izin alınmasını gerektirecek herhangi bir durum yoktur.

KAYNAKLAR

- Abe, T., Yasuda, T., Midorikawa, T., Sato, Y., Kearns, C. F., Inoue, K., Ishii, N. (2005). Skeletal muscle size and circulating IGF-1 are increased after two weeks of twice daily “KAATSU” resistance training. *International Journal of KAATSU Training Research*, 1(1), 6-12. doi:10.3806/ijkr.1.6
- Abe, T., Kearns, C. F., & Sato, Y. (2006). Muscle size and strength are increased following walk training with restricted venous blood flow from the leg muscle, Kaatsu-walk training. *Journal of applied physiology*, 100(5), 1460-1466.
- Abe, T., Sakamaki, M., Fujita, S., Ozaki, H., Sugaya, M., Sato, Y., & Nakajima, T. (2010). Effects of low-intensity walk training with restricted leg blood flow on muscle strength and aerobic capacity in older adults. *Journal of geriatric physical therapy*, 33(1), 34-40.
- Aguayo, D., Mueller, S. M., Boutellier, U., Auer, M., Jung, H. H., Flück, M., & Toigo, M. (2016). One bout of vibration exercise with vascular occlusion activates satellite cells. *Experimental physiology*, 101(2), 295-307.
- Allen, D. G., & Trajanovska, S. (2012). The multiple roles of phosphate in muscle fatigue. *Frontiers in physiology*, 3, 463.
- Anderson, A. B., Owens, J. G., Patterson, S. D., Dickens, J. F., & LeClere, L. E. (2019). Blood flow restriction therapy: from development to applications. *Sports medicine and arthroscopy review*, 27(3), 119-123.
- Aniceto, R. R., & da Silva Leandro, L. (2022). Practical blood flow restriction training: New methodological directions for practice and research. *Sports Medicine-Open*, 8(1), 1-7.
- Baar, K. (2006). Training for endurance and strength: lessons from cell signaling. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 38(11), 1939-1944.
- Barnett, B. E., Dankel, S. J., Counts, B. R., Nooe, A. L., Abe, T., & Loenneke, J. P. (2016). Blood flow occlusion pressure at rest and immediately after a bout of low load exercise. *Clinical physiology and functional imaging*, 36(6), 436-440.
- Bellamy, L. M., Joannis, S., Grubb, A., Mitchell, C. J., McKay, B. R., Phillips, S. M., ... & Parise, G. (2014). The acute satellite cell response and skeletal muscle hypertrophy following resistance training. *PLoS one*, 9(10), e109739.
- Beyer, K. S., Fukuda, D. H., Boone, C. H., Wells, A. J., Townsend, J. R., Jajtner, A. R., ... & Stout, J. R. (2016). Short-term unilateral resistance training results in cross education of strength without changes in muscle size, activation, or endocrine response. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 30(5), 1213-1223.
- Burgomaster, K. A., Moore, D. R., Schofield, L. M., Phillips, S. M., Sale, D. G., & Gibala, M. J. (2003). Resistance training with vascular occlusion: metabolic adaptations in human muscle. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 35(7), 1203-1208
- Centner, C., Wiegel, P., Gollhofer, A., & König, D. (2019). Effects of Blood Flow Restriction Training on Muscular Strength and Hypertrophy in Older Individuals: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 49(1), 95-108. doi:10.1007/s40279-018-0994-1
- Clark, B. C., Manini, T. M., Hoffman, R. L., Williams, P. S., Guiler, M. K., Knutson, M. J., . . . Kushnick, M. R. (2011). Relative safety of 4 weeks of blood flow-restricted resistance exercise in young, healthy adults. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 21(5), 653-662. doi:10.1111/j.1600-0838.2010.01100.x
- Clarkson, P. M., Byrnes, W. C., McCormick, K. M., Turcotte, L. P., & White, J. S. (1986). Muscle soreness and serum creatine kinase activity following isometric, eccentric, and concentric exercise. *International journal of sports medicine*, 7(03), 152-155.
- Dankel, S. J., Jessee, M. B., Abe, T., & Loenneke, J. P. (2016). The Effects of Blood Flow Restriction on Upper-Body Musculature Located Distal and Proximal to Applied Pressure. *Sports Medicine*, 46(1), 23-33. doi:10.1007/s40279-015-0407-7
- DeLorme, T. L. (1945). Restoration of muscle power by heavy-resistance exercises. *JBJS*, 27(4), 645-667.
- Fahs, C. A., Loenneke, J. P., Rossow, L. M., Tiebaud, R. S., & Bemben, M. G. (2012). Methodological considerations for blood flow restricted resistance exercise. *Journal of Trainology*, 1(1), 14-22. doi:10.17338/trainology.1.1_14
- Farup, J., De Paoli, F., Bjerg, K., Riis, S., Ringgard, S., & Vissing, K. (2015). Blood flow restricted and traditional resistance training performed to fatigue produce equal muscle hypertrophy. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 25(6), 754-763.
- Fry, A. C., Kraemer, W. J., Weseman, C. A., Conroy, B. P., Gordon, S. E., Hoffman, J. R., & Maresh, C. M. (1991). The Effects of an Off-season Strength and Conditioning Program on Starters and Non-starters in Women's Intercollegiate Volleyball. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 5, 174-181.

- Fujita, T., Brechue, W. F., Kurita, K., Sato, Y., & Abe, T. (2008). Increased muscle volume and strength following six days of low-intensity resistance training with restricted muscle blood flow. *International Journal of KAATSU Training Research*, 4(1), 1-8. doi:10.3806/ijkr.4.1
- Gibala, M. J., MacDougall, J. D., Tarnopolsky, M. A., Stauber, W. T., & Elorriaga, A. (1995). Changes in human skeletal muscle ultrastructure and force production after acute resistance exercise. *Journal of Applied Physiology*, 78(2), 702-708.
- Henneman, E., Somjen, G., & Carpenter, D. O. (1965). Functional significance of cell size in spinal motoneurons. *J Neurophysiol*, 28, 560-580. doi:10.1152/jn.1965.28.3.560
- Hughes, L., Paton, B., Rosenblatt, B., Gissane, C., & Patterson, S. D. (2017). Blood flow restriction training in clinical musculoskeletal rehabilitation: a systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 51(13), 1003-1011. doi:10.1136/bjsports-2016-097071
- Hughes, L., Jeffries, O., Waldron, M., Rosenblatt, B., Gissane, C., Paton, B., & Patterson, S. D. (2018). Influence and reliability of lower-limb arterial occlusion pressure at different body positions. *PeerJ*, 6, 1-12
- Hunt, J. E. A., Stodart, C., & Ferguson, R. A. (2016). The influence of participant characteristics on the relationship between cuff pressure and level of blood flow restriction. *European journal of applied physiology*, 116(7), 1421-1432. doi:10.1007/s00421-016-3399-6
- Jessee, M., Dankel, S., Buckner, S., Mouser, J., Mattocks, K., & Loenneke, J. (2017). The Cardiovascular and Perceptual Response to Very Low Load Blood Flow Restricted Exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 38(08), 597-603. doi:10.1055/s-0043-109555
- Jessee, M. B., Buckner, S. L., Dankel, S. J., Counts, B. R., Abe, T., & Loenneke, J. P. (2016). The Influence of Cuff Width, Sex, and Race on Arterial Occlusion: Implications for Blood Flow Restriction Research. *Sports Medicine*, 46(6), 913-921. doi:10.1007/s40279-016-0473-5
- Jessee, M. B., Mattocks, K. T., Buckner, S. L., Dankel, S. J., Mouser, J. G., Abe, T., & Loenneke, J. P. (2018). Mechanisms of blood flow restriction: the new testament. *Techniques in Orthopaedics*, 33(2), 72-79.
- Joyner, M. J., Dietz, N. M., & Shepherd, J. T. (2001). From Belfast to Mayo and beyond: the use and future of plethysmography to study blood flow in human limbs. *Journal of applied physiology*, 91(6), 2431-2441.
- Kaijser, L., Sundberg, C. J., Eiken, O., Nygren, A., Esbjornsson, M., Sylven, C., & Jansson, E. (1990). Muscle oxidative capacity and work performance after training under local leg ischemia. *Journal of Applied Physiology*, 69(2), 785-787.
- Kamiş, O., & Aydos, L. (2022). Kan akışı kısıtlanmalı direnç egzersizi: kuvvet ve hipertrofiyi en üst düzeye çıkarmak için yeni bir antrenman tekniği: Kısa Derleme. *Türkiye Klinikleri Spor Bilimleri Dergisi*, 14(2).
- Kosek, D. J., Kim, J. S., Petrella, J. K., Cross, J. M., & Bamman, M. M. (2006). Efficacy of 3 days/wk resistance training on myofiber hypertrophy and myogenic mechanisms in young vs. older adults. *Journal of Applied Physiology*, 101(2), 531-544. doi:10.1152/jappphysiol.01474.2005
- Lixandrao, M. E., Ugrinowitsch, C., Berton, R., Vechin, F. C., Conceicao, M. S., Damas, F., . . . Roschel, H. (2018). Magnitude of Muscle Strength and Mass Adaptations Between High-Load Resistance Training Versus Low-Load Resistance Training Associated with Blood-Flow Restriction: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 48(2), 361-378. doi:10.1007/s40279-017-0795-y
- Loenneke, J. P., Wilson, J. M., Marín, P. J., Zourdos, M. C., & Bemben, M. G. (2012). Low intensity blood flow restriction training: a meta-analysis. *European journal of applied physiology*, 112(5), 1849-1859. doi:10.1007/s00421-011-2167-x
- Loenneke, J. P., Fahs, C. A., Rossow, L. M., Sherk, V. D., Thiebaud, R. S., Abe, T., et al. (2012b). Effects of cuff width on arterial occlusion: implications for blood flow restricted exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.* 112, 2903–2912.
- Loenneke, J. P., Fahs, C. A., Rossow, L. M., Thiebaud, R. S., Mattocks, K. T., Abe, T., & Bemben, M. G. (2013). Blood flow restriction pressure recommendations: a tale of two cuffs. *Frontiers in physiology*, 4, 249.
- Loenneke, J. P., Thiebaud, R. S., Abe, T., & Bemben, M. G. (2014). Blood flow restriction pressure recommendations: the hormesis hypothesis. *Medical hypotheses*, 82(5), 623-626.
- Loenneke, J. P., Kim, D., Fahs, C. A., Thiebaud, R. S., Abe, T., Larson, R. D., ... & Bemben, M. G. (2015). Effects of exercise with and without different degrees of blood flow restriction on torque and muscle activation. *Muscle & nerve*, 51(5), 713-721.
- Lorenz, D. S., Bailey, L., Wilk, K. E., Mangine, R. E., Head, P., Grindstaff, T. L., & Morrison, S. (2021). Blood flow restriction training. *Journal of athletic training*, 56(9), 937-944.
- Malm, C. (2001). Exercise-induced muscle damage and inflammation: fact or fiction?. *Acta Physiologica Scandinavica*, 171(3), 233-239.

- Manini, T. M., & Clark, B. C. (2009). Blood Flow Restricted Exercise and Skeletal Muscle Health. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 37(2), 78-85. doi:10.1097/JES.0b013e31819c2e5c
- Mattocks, K. T., Jessee, M. B., Counts, B. R., Buckner, S. L., Mouser, J. G., Dankel, S. J., . . . Loenneke, J. P. (2017). The effects of upper body exercise across different levels of blood flow restriction on arterial occlusion pressure and perceptual responses. *Physiology & Behavior*, 171, 181-186. doi:10.1016/j.physbeh.2017.01.015
- Maughan, R. J., Watson, J. S., & Weir, J. (1983). Strength and cross-sectional area of human skeletal muscle. *The Journal of physiology*, 338(1), 37-49.
- McCall, G. E., Byrnes, W. C., Dickinson, A., Pattany, P. M., & Fleck, S. J. (1996). Muscle fiber hypertrophy: Hyperplasia, and capillary density in college men after resistance training. *Journal of Applied Physiology*, 81(5), 2004-2012. doi:10.1152/jappl.1996.81.5.2004
- McDonagh, M. J., & Davies, C. T. M. (1984). Adaptive response of mammalian skeletal muscle to exercise with high loads. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 52, 139-155.
- McEwen, J. A., Owens, J. G., & Jeyasurya, J. (2019). Why is it crucial to use personalized occlusion pressures in blood flow restriction (BFR) rehabilitation?. *Journal of Medical and Biological Engineering*, 39, 173-177.
- Mouser, J. G., Dankel, S. J., Jessee, M. B., Mattocks, K. T., Buckner, S. L., Counts, B. R., & Loenneke, J. P. (2017). A tale of three cuffs: the hemodynamics of blood flow restriction. *European journal of applied physiology*, 117(7), 1493-1499. doi:10.1007/s00421-017-3644-7
- Mouser, J. G., Dankel, S. J., Mattocks, K. T., Jessee, M. B., Buckner, S. L., Abe, T., & Loenneke, J. P. (2018). Blood flow restriction and cuff width: effect on blood flow in the legs. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 38(6), 944-948. doi:10.1111/cpf.12504
- Mouser, J. G., Jessee, M. B., Mattocks, K. T., Bell, Z. W., Buckner, S. L., Dankel, S. J., . . . Loenneke, J. P. (2018). Blood flow restriction: Methods matter. *Experimental Gerontology*, 104, 7-8. doi:10.1016/j.exger.2018.01.012
- Mulligan, S. E., Fleck, S. J., Gordon, S. E., Koziris, L. P., Triplett-McBride, N. T., & Kraemer, W. J. (1996). Influence of resistance exercise volume on serum growth hormone and cortisol concentrations in women. *The Journal of strength & conditioning research*, 10(4), 256-262.
- Noordin, S., McEwen, J. A., Kragh Jr, C. J. F., Eisen, A., & Masri, B. A. (2009). Surgical tourniquets in orthopaedics. *JBJS*, 91(12), 2958-2967.
- Nakajima, T., Kurano, M., Iida, H., Takano, H., Oonuma, H., Morita, T., . . . Group, K. T. (2006). Use and safety of KAATSU training: Results of a national survey. *International Journal of KAATSU Training Research*, 2(1), 5-13. doi:10.3806/ijktr.2.5
- Patterson, S. D., Hughes, L., Warmington, S., Burr, J., Scott, B. R., Owens, J., . . . Loenneke, J. (2019). Blood Flow Restriction Exercise Position Stand: Considerations of Methodology, Application, and Safety. *Frontiers in Physiology*, 10. doi:10.3389/fphys.2019.00533
- Pearson, S. J., & Hussain, S. R. (2015). A review on the mechanisms of blood-flow restriction resistance training-induced muscle hypertrophy. *Sports medicine*, 45, 187-200.
- Pope, Z. K., Willardson, J. M., & Schoenfeld, B. J. (2013). Exercise and Blood Flow Restriction. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(10), 2914-2926. doi:10.1519/jsc.0b013e3182874721
- Proske, U., & Morgan, D. L. (2001). Muscle damage from eccentric exercise: mechanism, mechanical signs, adaptation and clinical applications. *The Journal of physiology*, 537(2), 333-345.
- Ratamess, N. A., Alvar, B. A., Evetoch, T. E., Housh, T. J., Ben Kibler, W., Kraemer, W. J., & Triplett, N. T. (2009). Progression Models in Resistance Training for Healthy Adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(3), 687-708. doi:10.1249/MSS.0b013e3181915670
- Sasaki, S., Higashi, Y., Nakagawa, K., Kimura, M., Noma, K., Sasaki, S., . . . & Chayama, K. (2002). A low-calorie diet improves endothelium-dependent vasodilation in obese patients with essential hypertension. *American journal of hypertension*, 15(4), 302-309.
- Sato, Y. (2005). The history and future of KAATSU Training. *International Journal of KAATSU Training Research*, 1(1), 1-5. doi:10.3806/ijktr.1.1
- Sato, Y., Yoshitomi, A., & Abe, T. (2005). Acute growth hormone response to low-intensity KAATSU resistance exercise: Comparison between arm and leg. *International Journal of KAATSU Training Research*, 1(2), 45-50. doi:10.3806/ijktr.1.45
- Schiaffino, S., Reggiani, C., Akimoto, T., & Blaauw, B. (2021). Molecular Mechanisms of Skeletal Muscle Hypertrophy. *J Neuromuscul Dis*, 8(2), 169-183. doi:10.3233/JND-200568
- Schoenfeld, B. J. (2010). The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(10), 2857-2872.
- Schoenfeld, B. J., Wilson, J. M., Lowery, R. P., & Krieger, J. W. (2016). Muscular adaptations in low- versus high-load resistance training: A meta-analysis. *European Journal of Sport Science*, 16(1), 1-10. doi:10.1080/17461391.2014.989922

- Scott, B. R., Loenneke, J. P., Slattery, K. M., & Dascombe, B. J. (2015). Exercise with Blood Flow Restriction: An Updated Evidence-Based Approach for Enhanced Muscular Development. *Sports Medicine*, 45(3), 313-325. doi:10.1007/s40279-014-0288-1
- Shaw, J. A., & Murray, D. G. (1982). The Relationship Between Tourniquet Pressure and Underlying Soft Tissue Pressure In The Thigh. *Journal of Bone and Joint Surgery-American Volume*, 64(8), 1148-1152. doi:10.2106/00004623-198264080-00004
- Shinohara, M., Kouzaki, M., Yoshihisa, T., & Fukunaga, T. (1998). Efficacy of tourniquet ischemia for strength training with low resistance. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 77(1-2), 189-191. Retrieved from <Go to ISI>://WOS:000071009500028
- Sieljacks, P., Knudsen, L., Wernbom, M., & Vissing, K. (2018). Body position influences arterial occlusion pressure: implications for the standardization of pressure during blood flow restricted exercise. *European journal of applied physiology*, 118, 303-312
- Siff, M. C. (2000). Biomechanical foundations of strength and power training. *Biomechanics in sport: performance enhancement and injury prevention*, 103-139.
- Stone, M. H. (1993). Position statement: Explosive exercise and training. *Strength & Conditioning Journal*, 15(3), 7-15.
- Sumide, T., Sakuraba, K., Sawaki, K., Ohmura, H., & Tamura, Y. (2009). Effect of resistance exercise training combined with relatively low vascular occlusion. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12(1), 107-112. doi:10.1016/j.jsams.2007.09.009
- Takarada, Y., Sato, Y., & Ishii, N. (2002). Effects of resistance exercise combined with vascular occlusion on muscle function in athletes. *European journal of applied physiology*, 86(4), 308-314. doi:10.1007/s00421-001-0561-5
- Takarada, Y., Takazawa, H., Sato, Y., Takebayashi, S., Tanaka, Y., & Ishii, N. (2000). Effects of resistance exercise combined with moderate vascular occlusion on muscular function in humans. *Journal of Applied Physiology*, 88(6), 2097-2106. doi:10.1152/jappl.2000.88.6.2097
- Tesch, P. (1988). Skeletal muscle adaptations consequent to long-term heavy resistance exercise. *Medicine and science in sports and exercise*, 20(5 Suppl), 132-134.
- Thiebaud, R. S., Yasuda, T., Loenneke, J. P., & Abe, T. (2013). Effects of low-intensity concentric and eccentric exercise combined with blood flow restriction on indices of exercise-induced muscle damage. *Interventional Medicine and Applied Science*, 5(2), 53-59.
- Vierck, J., O'Reilly, B., Hossner, K., Antonio, J., Byrne, K., Bucci, L., & Dodson, M. (2000). Satellite cell regulation following myotrauma caused by resistance exercise. *Cell biology international*, 24(5), 263-272.
- Vijayan, K., Thompson, J. L., Norenberg, K. M., Fitts, R. H., & Riley, D. A. (2001). Fiber-type susceptibility to eccentric contraction-induced damage of hindlimb-unloaded rat AL muscles. *Journal of Applied Physiology*, 90(3), 770-776.
- Yasuda, T., Abe, T., Sato, Y., Midorikawa, T., Kearns, C. F., Inoue, K., . . . Ishii, N. (2005). Muscle fiber cross-sectional area is increased after two weeks of twice daily KAATSU-resistance training. *International Journal of KAATSU Training Research*, 1(2), 65-70. doi:10.3806/ijktr.1.65
- Yasuda, T., Fujita, S., Ogasawara, R., Sato, Y., & Abe, T. (2010). Effects of low-intensity bench press training with restricted arm muscle blood flow on chest muscle hypertrophy: a pilot study. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 30(5), 338-343. doi:10.1111/j.1475-097x.2010.00949.x
- Younger, A. S., McEwen, J. A., and Inkpen, K. (2004). Wide contoured thigh cuffs and automated limb occlusion measurement allow lower tourniquet pressures. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 286–293.