

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI DİRENÇLERDE UYGULANAN EKSANTRİK-
KONSANTRİK EGZERSİZLERİN KUVVET VE HİPERTROFİ
AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Ali TATLICI

DOKTORA TEZİ

BEDEN EĞİTİMİ ve SPOR ANABİLİM DALI

Danışman

Prof. Dr. Oktay ÇAKMAKÇI

KONYA – 2021

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI DİRENÇLERDE UYGULANAN EKSANTRİK-
KONSANTRİK EGZERSİZLERİN KUVVET VE HİPERTROFİ
AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Ali TATLICI

DOKTORA TEZİ

BEDEN EĞİTİMİ ve SPOR ANABİLİM DALI

Danışman

Prof. Dr. Oktay ÇAKMAKÇI

Bu araştırma Selçuk Üniversitesi ÖYP koordinatörlüğü tarafından 2018-öyp-015

proje numarası ile desteklenmiştir.

KONYA – 2021

ÖNSÖZ

Günümüzde spor bilimleri alanında istikrarlı bir hiyerarşik ilerleme sağlamıştır. Mevcut pratisyenlerin, antrenörlerin ve spor kondisyonerlerinin büyüklüğü sadece sayı olarak değil, aynı zamanda bu mesleklerdeki alt uzmanlıklar ortaya çıktıkça derinlemesine de artmaktadır. Mevcut bilimsel bilgiyi sporcuların antrenmanı ve etkili antrenman programlarının geliştirilmesine en iyi şekilde uygulamak için, güç ve kondisyon uzmanlarının yalnızca kas-iskelet işlevi değil, aynı zamanda egzersiz çalışmasını doğrudan destekleyen vücut sistemleri hakkında da temel bir anlayışa sahip olması gerekir.

Doktora Tezi olarak hazırlanan çalışmamda bana yardımcı olan ve araştırmaya gönüllü denek olarak katılan bireylere, ölçümlerde bana yardımcı olan Arş. Gör. Sercan YILMAZ, Arş. Gör. Bekir ÇİFTÇİ' ye ve Doç. Dr. Hakan CEBECİ'ye ve ölçümlere gönüllü destek olan fakültemiz lisans ve yüksek lisans öğrencilerine, tez çalışmam süresince bana destek olan tüm aile fertlerime ve hayat arkadaşıma sevgilerimi ve sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	v
ÖZET	vi
ABSTRACT.....	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. İskelet Kasları	2
1.1.1. Kas Hücreleri	5
1.1.2. Titin Proteini	11
1.1.3. Kayan Filamentler Teorisi.....	12
1.1.4. Kas Fibril Tipleri.....	15
1.2. Kuvvet.....	18
1.2.1.Kas Kuvvetini Etkileyen Faktörler	20
1.3. İzotonik Kasılma Çeşitleri	25
1.3.1.Konsantrik Kasılma	25
1.3.2.Eksantrik Kasılma.....	26
1.3.3.Eksantrik-Konsantrik Kasılmaların Kuvvet Etkisi	27
1.3.4.Eksantrik-Konsantrik Kasılmaların Hormonal Etkileri	29
1.3.5.Eksantrik-Konsantrik Kasılmaların Hipertrofiye Etkisi	30
2. GEREÇ VE YÖNTEM.....	31
2.1. Katılımcılar	31
2.1.1.Katılımcı Kriterleri.....	31
2.1.2. Katılımcıların Gruplandırılması	31
2.2. Antrenman Protokolü	32
2.2.1. 1RM Ölçümü.....	33
2.2.2. Yükleme Türü	34
2.2.3. Antrenman Temposu.....	35
2.2.4. Antrenman Modeli	36

2.3. Antrenman Periyodu	36
2.4. Antropometrik Ölçümler	37
2.4.1. Boy Uzunluğu Ölçümü	37
2.4.2. Vücut Ağırlığı Ölçümü	37
2.5. Kas Hipertrofi Ölçümü.....	37
2.6. İzokinetik Kuvvet Ölçümleri.....	38
2.7. İstatistiksel Analiz	39
3. BULGULAR	41
4. TARTIŞMA	48
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	62
6. KAYNAKLAR	64
7. EKLER.....	74
7.1. Etik Kurul Raporu	74
7.2. Gönüllü Onam Formu	75
8. ÖZGEÇMİŞ.....	76

SİMGELER ve KISALTMALAR

nm: Nanometre

mm: Milimetre

mL: Mililitre

Dak: Dakika

VO₂max: Maksimal oksijen kullanım kapasitesi

pN: Pikonewton

EKS: Eksantrik

KON: Konsantrik

Ca²⁺: Kalsiyum

GH: Growth hormonu

T: Testosteron

EG: Eksantrik kasılma grubu

KEG: Konsantrik ve eksantrik kasılma grubu

MKEG: Modifiye edilmiş konsantrik ve eksantrik kasılma grubu

KG: Kontrol grubu

1RM: Maksimum bir tekrar

ÖZET

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Farklı Dirençlerde Uygulanan Eksantrik-Konsantrik Egzersizlerin Kuvvet ve Hipertrofi Açısından Değerlendirilmesi

DOKTORA TEZİ/2021

Ali TATLICI

Beden Eğitimi ve Spor Anabilim Dalı

Bu araştırmada; farklı dirençlerde uygulanan eksantrik-konsantrik egzersizlerin kuvvet ve hipertrofi parametrelerine olan etkisinin incelenmesi amaçlanmaktadır.

Araştırmaya katılan sedanter 35 gönüllü birey tabakalı randomizasyon yöntemi ile kuvvet ve hipertrofi ortalamalarına göre 4 gruba ayrılmıştır. Bu gruplar kontrol (KG) (yaş $21,00 \pm 2,44$ yıl, boy $178,13 \pm 6,83$ cm, vücut ağırlığı $80,13 \pm 12,14$ kg), eksantrik grup (EG) (yaş $22,22 \pm 2,99$ yıl, boy $178,22 \pm 5,95$ cm, vücut ağırlığı $71,22 \pm 9,36$ kg), kon-eksantrik grup (KEG) (yaş $21,22 \pm 2,86$ yıl, boy $177,22 \pm 4,68$ cm, vücut ağırlığı $71,89 \pm 13,93$ kg) ve modifiye edilmiş kon-eksantrik grup (MKEG) (yaş $21,67 \pm 2,59$ yıl, boy $177,00 \pm 4,30$ cm, vücut ağırlığı $75,22 \pm 8,16$ kg) olarak isimlendirilmiştir. Antrenman gruplarına 8 haftalık antrenman periyodu boyunca haftada 3 gün 4'er set farklı yüklerde bacak ekstansiyon egzersizleri uygulanmıştır. Antrenman periyodu öncesinde ve sonrasında katılımcıların Quadriceps Femoris (QF) kas kalınlıkları ultrason görüntüleme yöntemi ile ölçüldü. İzometrik kuvvetleri çıktıkları ise hem konsantrik hem de eksantrik olarak 60^0s^{-1} ve 180^0s^{-1} açısal hızlarda Cybex cihazı ile ölçülmüştür.

Verilerin istatistiki analizlerinde SPSS 24 paket programı kullanılmıştır. Shapiro-Wilk testi ile normal dağılım sınanmış ve normal olmayan değerlerin çarpıklık ve basıklık değerleri ± 2 içinde olanların normal dağıldığı kabul edilmiştir. Normal dağılım gösteren veriler için ikili karşılaştırmalarda paired sample t testi, 2 den fazla ise tek yönlü varyans analizi (Anova) kullanılmıştır. Post hoc testlerden Tukey ve Dunnett's T3 (homojen dağılmayan) testi kullanılmıştır. Normal dağılım göstermeyen verilerde ise Wilcoxon Testi (ikili karşılaştırmalar) ve Kruskal-Wallis testi uygulanmıştır.

Antrenman periyodu öncesi ve sonrası grup içi karşılaştırmalar incelendiğinde EG, KEG ve MKEG'un izometrik ve rölatif izometrik kuvvet çıktılarının tüm kasılma ve açısal hızlarda anlamlı artış gösterdiği, ayrıca quadriceps kalınlıklarının da anlamlı arttığı bulunurken ($p < 0,05$) KG için hiç bir parametrede anlamlı artış bulunmamıştır ($p > 0,05$). Gruplar arası izometrik ön test kuvvet ve hipertrofi değerleri incelendiğinde; 4 farklı grup arasında kuvvet ve quadriceps kalınlığı değerleri arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır ($p > 0,05$). 60^0s^{-1} eksantrik ve 180^0s^{-1} eksantrik kuvvet çıktılarında MKEG ve EG kontrol grubuna göre anlamlı ($p < 0,05$) artış gösterirken, 180^0s^{-1} konsantrik kuvvet çıktısında ise sadece MKEG kontrol grubuna göre anlamlı ($p < 0,05$) derecede artış göstermiştir.

Gruplar arası izometrik Kg^{-1} kuvvet son test değerlerinin karşılaştırılması sonucunda 60^0s^{-1} konsantrik Kg^{-1} kuvvet testinde kontrol grubuna göre EG ve MKEG, 180^0s^{-1} konsantrik Kg^{-1} kuvvet

testinde ise KEG ve MKEG anlamlı ($p<0,05$) artış göstermiştir. 60^0s^{-1} ve 180^0s^{-1} eksantrik Kg^{-1} kuvvet testinde KG'una göre EG, KEG ve MKEG anlamlı ($p<0,05$) artış göstermiştir.

Sonuç olarak kuvvet testleri ele alındığında genel kuvvet gelişimi oran olarak en fazla MKEG' da görülmesine rağmen antrenman grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunamamıştır. Bunun yanısıra egzersizlerde kullanılan kasılmanın o kasılma türünün kuvvet oranını daha fazla arttırdığı görülmektedir. Ayrıca tüm kuvvet antrenman protokolleri kas kuvvetini anlamlı ölçüde arttırmıştır. Quadriseps hipertrofisi antrenman grupları arasında anlamlı olarak artış göstermese de oransal olarak artış en yüksek MKEG sonra EG ve en az KEG' da oluşmuştur. Kuvvet antrenmanları uygulanırken daha fazla kuvvet gelişim oranları için, egzersizlerin eksantrik evrelerindeki yükü eksantrik 1RM üzerinde belirlemek en azından bu araştırma neticesinde önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Eksantrik, Hipertrofi, Kasılma, Konsantrik, Kuvvet.



ABSTRACT

T.R

**SELCUK UNIVERSITY
HEALTH SCIENCES INSTITUTE**

Assessment of Eccentric-Concentric Exercises Applied in Different Resistances in Terms of Strength and Hypertrophy

Ali TATLICI

Department of Physical Education and Sports

DOCTORATE THESIS/KONYA-2021

The purpose of this study was to examine the effects of eccentric-concentric exercises applied at different resistances on strength and hypertrophy parameters.

Thirty-five sedentary volunteers participating in the study were divided into 4 groups by the stratified randomization method according to their mean strength and hypertrophy parameters.

These groups were named as control group (KG) (age 21.00 ± 2.44 years, height 178.13 ± 6.83 cm, body weight 80.13 ± 12.14 kg), eccentric group (EG) (age 22.22 ± 2.99 years, height 178.22 ± 5.95 cm, body weight 71.22 ± 9.36 kg), con-eccentric group (KEG) (age 21.22 ± 2.86 years, height 177.22 ± 4.68 cm, body weight 71.89 ± 13.93 kg) and modified con-eccentric group (MKEG) (age 21.67 ± 2.59 years, height 177.00 ± 4.30 cm, body weight 75.22 ± 8.16 kg). During the 8-week training period, 4 sets of leg extensions exercises with different loads were applied to the training groups 3 days a week. Before and after the training period, quadriceps femoris (QF) muscle thickness of the subjects were measured by the ultrasound imaging method. Isokinetic strength outputs were measured both concentrically and eccentrically at 60°s^{-1} ve 180°s^{-1} angular velocities with Cybex device.

SPSS 24 package program was used in the statistical analysis of the data. Normal distribution was tested by Shapiro-Wilk test, and those with non-normal values of skewness and kurtosis within ± 2 were accepted as parametric. Paired sample t test in paired comparisons for normally distributed data and paired sample t test was used for binary variables for normally distributed data, one-way ANOVA test was used for comparison between three or more groups. Tukey and Dunnett's T3 (non-homogeneous) test was used among the post hoc tests. Wilcoxon test (paired comparisons) and Kruskal-Wallis test were used for nonparametric data.

When the intragroup comparisons were examined before and after the training period, it was found that the isokinetic and relative isokinetic strength outputs of EG, KEG and MKEG showed significant increase in all contractions and angular velocities ($p < 0.05$), and also quadriceps thicknesses increased significantly ($p < 0.05$) but no parameters increased in KG ($p > 0.05$). When the isokinetic pre-test strength outputs and hypertrophy parameters between the groups were compared, no significant difference was found in terms of either strength output or quadriceps thickness ($p > 0.05$). While only MKEG increased significantly in 180°s^{-1} concentric strength outputs, 60°s^{-1} and 180°s^{-1} eccentric strength output increased significantly in both MKEG and EG compared to KG ($p < 0.05$).

When the isokinetic Kg^{-1} strength posttest values between the groups were examined, EG and MKEG showed a significant increase in the 60°s^{-1} concentric compared to KG ($p < 0.05$), MKEG and KEG showed a significant increase in the 180°s^{-1} concentric compared to KG ($p < 0.05$).

EG, KEG and MKEG $\text{Kg}^{-1} 60^0\text{s}^{-1}$ and 180^0s^{-1} eccentric strength parameters increased significantly ($p < 0.05$) compared to KG.

As a result, when the strength tests are considered, although the general strength development is seen mostly in MKEG, no statistically significant difference was found between training groups. In addition, it is seen that the contraction used in exercises increases the strength development ratio of that contraction type more. In addition, all strength training protocols significantly increased muscle strength. Although the quadriceps hypertrophy did not show a significant increase among the training groups, the proportional increase occurred the highest followed by EG and at least KEG. It is recommended to determine the load in the eccentric phases of the exercises by the eccentric 1RM, at least as a result of this research, in order to generate more strength development rates while applying strength training.

Keywords: Eccentric, Hypertrophy, Contraction, Concentric, Strength.



1.GİRİŞ

Kas kasılmaları tüm insan hareketlerinin temelini oluşturur. Hareket aynı zamanda farklı vücut sistemleri arasındaki etkileşimleri de içerir. Örneğin kas hücreleri (lifler), kasılma ve kuvvet üretimi için enerji sağlamak üzere ATP üretir ve kullanır. Sindirim, solunum, endokrin ve kardiyovasküler sistemler, kas hücrelerine enerji üretmek için gerekli oksijen ve besinleri sağlamak adına etkili bir şekilde çalışmalıdır. Kas dokusu, esas olarak proteinden oluşan temel kasılma elemanlarının (miyofilamentler) etkileşimi yoluyla güç üretir. Üç tip kas dokusu vardır (iskelet, düz ve kalp) ve bunlar farklı genel işlevlere sahiptir. Kasılma kuvveti, hareket (iskelet kası), sindirim sistemi veya kan damarları (düz kas), veya kalbin pompalama hareketi (kalp kası) gibi hareketler için kullanılabilir. Kasılma tipine bakılmaksızın, tüm kas dokuları bazı temel özellikler nedeniyle kuvvet üretebilir. İskelet kasları çeşitli özelliklere sahip olduğundan, genellikle farklı isimlerle adlandırılır. İskelet kasları istemli olarak kontrol edilebilir ve genellikle istemli kaslar olarak adlandırılır. İskelet kasları bazen mikroskobik yapılarında görülen açık ve koyu bantların tekrarlayan paterni nedeniyle çizgili kas olarak da adlandırılır. Ek olarak, iskelet kası liflerini kasın duyuşal organlarında (proprioseptörler) bulunan intrafusalliflerden ayırmak için fizyologlar bazen iskelet kası liflerine ektrafusallifleri olarak atıfta bulunurlar (Plowman ve Smith 2013).

Kas dokuları, proteinlerin dönüşümlü olarak sentezlendiğı ve yıkıldığı dinamik, bir durumda bulunmaktadır. Genetik, sinir sistemi aktivasyonu, çevresel faktörler, hormonal etkiler, beslenme seviyesi ve fiziksel aktivite kas kütlesini geliştiren ve koruyan altı faktör olarak listelenmektedir. Kuşkusuz, genetik faktörler, kas kütlesini ve dayanıklılığını artıran diğer faktörlerin her birini modüle eden temel referans çerçevesini sağlar. Kas aktivitesi, gerekli yapı bloklarını sağlamak için uygun beslenme (özellikle amino asit mevcudiyeti) olmadan doku büyümesine çok az katkıda bulunur. Benzer şekilde, spesifik hormonlar (örn. testosteron, büyüme hormonu, kortizol) ve sinir sistemi innervasyonu uygun antrenman yanıtını modellemeye ve güçlendirmeye yardımcı olur. Yükleme

olmadan, diğer faktörlerin her biri istenen antrenman yanıtını etkili bir şekilde üretemez (McArdle ve ark 2010).

Kuvvet antrenmanında yüklenmeler kasların farklı kasılma şekliyle meydana gelebilmektedir. Bu kasılmalar yaygın şekilde konsantrik (KON), eksantrik (EKS) ya da KON/EKS olarak ikisi bir arada yapılabilmektedir. EKS kasılmaların son zamanlarda fizyolojik etkileri araştırılmaktadır ve bu çalışmaların sonuçları ortaya çıktıkça antrenmanın temel bilimsel ilkelerinden olan yoğunluk ve sıklık prensiplerinin uygulanma şekilleri daha fazla önem kazanmaktadır. Antrenman programlarının planlanmasında yükün yoğunluğu yapılacak setin sayısı antrenman için en etkili yollardandır (Garber ve ark 2011). Genellikle belirli bir egzersizde egzersiz yükü bireyin maksimum 1 tekrar maksimumunu (1RM) ölçerek veya tahmin ederek bulunmaktadır. Ancak geleneksel 1RM belirleme yönteminde bireyin yapabildiği son tekrar konsantrik kasılma göz önüne alınarak hesaplanmaktadır. Literatür ise bir bireyin 1RM EKS kasılmasının KON kasılmaya göre %120–200 fazla olabileceğini bildirmektedir (Bamman ve ark 2001, Drury ve ark 2006, Hollander ve ark 2007, Hollander ve ark 2008). Geleneksel olarak yapılan kuvvet antrenmanlarında kuvvet şiddeti belirlenirken KON 1RM göz önünde bulundurulmaktadır. Sadece EKS çalışmalarda ise EKS 1RM kullanılmaktadır bu koşulda da KON kasılma paterni kullanılmamaktadır. Maksimal kuvvet kapasiteleri (1RM), yorulma düzeyleri, potansiyel kas hasarındaki farklılıklar nedeniyle EKS eylemler için gerekli sıklık, yük ve dinlenme ile ilgili uygun antrenman protokolleri oluşturmak için daha fazla araştırma yapılması gerektiği çalışmalarca vurgulanmaktadır (Kelly ve ark 2015, Suchomel ve ark 2018).

Bu bilgiler göz önüne alındığında çalışmamızda geleneksel KON/EKS kasılmalarla yapılan antrenmanların yüklerinin kasılmalara göre düzenlenerek kas kuvveti ve hipertrofisindeki olabilecek artışların ortaya konması amaçlanmaktadır.

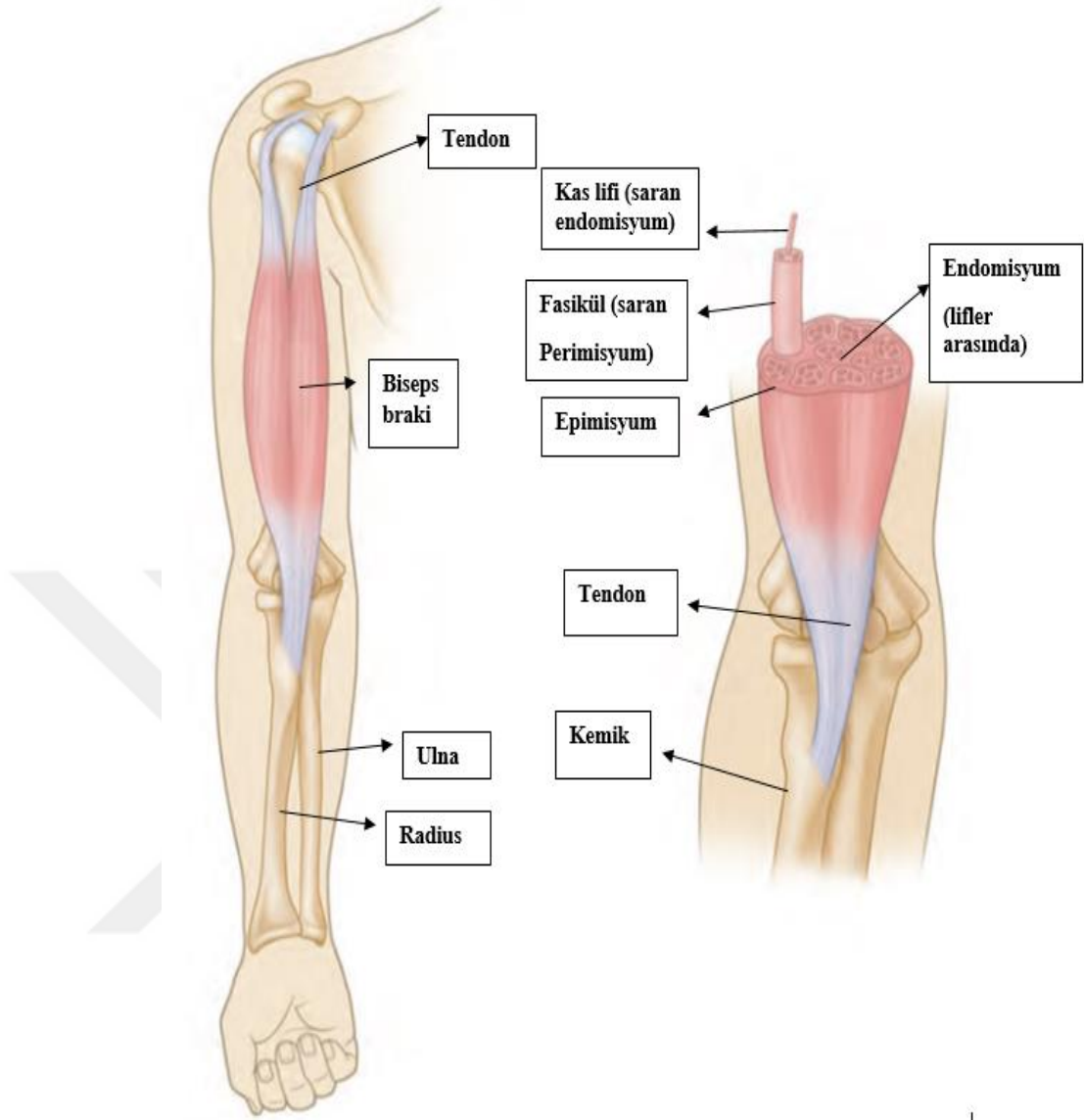
1.1. İskelet Kasları

İskelet kasları düşündüğümüzde her kası bir bütün olarak yani tek bir birim olarak görselleştiririz. Bu tamamen doğaldır çünkü iskelet kasını ele aldığımız zaman tek bir varlık gibi hareket ettiğini görürüz. Aslında iskelet kasları

mekanizması ve çalışma prensibi bakımından bundan çok daha karmaşık bir yapıdır. Bir kişi bir kası parçalara ayırsa, önce epimisyum olarak bilinen bir dış bağ dokusunu kesecektir. Bu epimisyum yapısının görevi tüm kası çevreleyerek kasın bütün olarak bir arada kalmasını sağlamaktır. Epimisyumdan daha derine inildikçe bağ dokusu kılıfına sarılmakta olan küçük küçük lif demetleri fark edilecektir. Bu demetlere fasikül denmektedir ve her fasikülü çevreleyen bağ dokusu kılıfına da perimisyum denmektedir. Elde bulunan perimisyum mikroskop kullanılarak kesildiğinde de her bir kas lifleri tek tek görünmektedir. İnsan vücudunda tek çekirdekli çoğu hücrelerin aksine kas hücreleri çok çekirdekli yapılardır (McArdle ve ark 2010, Kenney ve ark 2015).

Genelde kas liflerinin kasın bir ucundan diğer ucuna uzandığı düşünülür; ancak mikroskop altında, kas karınları (kasların kalın orta kısımları) sıklıkla bölmelere veya daha çok enine lifli bantlara bölünür. Bu bölümlere ayrıldığında, en uzun insan kas lifleri yaklaşık 12 cm'dir ve bu, miyofibrilin temel işlevsel birimi olan yaklaşık 500,000 sarkomere karşılık gelir. Farklı kaslardaki lif sayıları aynı olmamakla birlikte, lif sayısı birkaç yüz (ör. Kulak zarına bağlı tensör pani) ile bir milyondan fazla (ör. Medial gastroknemius kası) olarak görülebilmektedir (Plowman ve Smith 2013, Kenney ve ark 2015).

Kas dokusunun en önemli görevi hareket ettirmektir ancak bu görevinin dışında birden fazla rolü bulunmaktadır. Harekete ek olarak, iskelet kasları vücut duruşunu korur, kanın kalbe venöz dönüşüne yardımcı olur ve ısı üretir (termojenez). Isı, hücresel solunumun bir yan ürünüdür; Kaslar hareket için büyük miktarda enerji kullandıklarından, aynı zamanda çok fazla ısı üretirler. Ek olarak, kaslar, tüketilen gıdalardaki biyokimyasal enerjiyi mekanik ve termal enerjiye dönüştürerek enerji dönüştürücü görevi görür. İskelet kasları ayrıca iç organların korunmasına yardımcı olur. Kaslar vücuttaki proteinin çoğunu oluşturduğundan, potansiyel ancak nadiren kullanılan bir depolanmış enerji biçimini de oluştururlar.



Şekil 1.1. İskelet Dokusunun Organizasyonu (Plowman ve Smith 2013).

Bir elektrik sinyalinin mekanik bir olaya dönüştürme (kas liflerinin kasılması) özelliği kas dokusunun benzersiz özelliklerinden birincil işlevine uygundur. Uyarılabilirlik, kasılma, uzayabilirlik ve esneklik kas dokusunun önemli özelliklerindendir. Uyarılabilirlik, bir kasın uyarılarına almasını ve bu uyarılara tepki olarak başka bir tepki verme yeteneğini ifade eder. Uyarı genellikle kimyasal bir mesajdır (bir nörotransmitterden) ve yanıt, hücre zarı boyunca bir elektrik akımının (aksiyon potansiyeli) üretilmesidir. Kasılma, bir kasın bir uyarıya yanıt olarak kısalma kabiliyetini ifade eder. Bu kısalma mekanik bir kuvvet üretir. Kas dokusu, kuvvet üretebilen tek vücut dokusudur. uzayabilirlik, bir kasın gerilme veya uzatma yeteneğini ifade eder. Germe, bir kas başka bir

kuvvet tarafından manipüle edildiğinde meydana gelir. Esneklik ise, bir kasın gerildikten sonra dinlenme uzunluğuna dönme yeteneğini ifade eder. Kasların bu özellikleri birlikte insan hareketine izin verir (McArdle ve ark 2010, Smith 2018).

1.1.1. Kas Hücreleri

Kas hücreleri olarak da bilinen kas lifleri uzun, silindirik şekilli çapı 10 ila 100 µm ve uzunluğu 1-400 mm arasında değişen hücrelerdir (Hunter ve conditioning 2000, Marieb ve ark 2010). Bir iskelet kası lifi, hücre zarının hemen altında bulunan birçok çekirdek içerir. Sarkolemma, özellikleri kasın sinirlenmesinden sorumlu olan bir kas hücresinin polarize plazma zarıdır. Bir kas hücresinin sarkoplazması, diğer hücrelerin sitoplazmasına benzer, ancak kas hücrelerinin işlevsel ihtiyaçlarına (yani artan miktarlarda glikojen ve oksijen bağlayıcı protein miyoglobini) hizmet etmek için özel uyarlamalara sahiptir. Bir kas lifi, bazı özel organellerle birlikte diğer hücrelerde (çok sayıda mitokondri dahil) bulunan aynı organelleri içerir.

İskelet kaslarındaki spesifik organeller, enine tübüller (T tübüller), sarkoplazmik retikulum ve miyofibrillerdir. Miyofibriller esas olarak protein miyofilamentlerinden oluşur ve kasların kasılma özelliklerinden sorumludur. İskelet kası hücreleri ayrıca, organeller için çerçeve sağlayan ve kuvvetin kas dokusundan kemiğe aktarılmasında önemli bir rol oynayan, oldukça organize bir kompleks hücre iskeletine sahiptir (Plowman ve Smith 2013, Kenney ve ark 2015).

Su iskelet kası kütlesinin yaklaşık %75'ini, protein ise %20'sini oluşturur. Kalan %5 tuzları ve yüksek enerjili fosfatlar dahil diğer maddeleri içerir; üre; laktat; kalsiyum, magnezyum ve fosfor mineralleri; çeşitli enzimler; sodyum, potasyum ve klorür iyonları; amino asitler, yağlar ve karbonhidratlar. Miyozin (kas proteininin yaklaşık %60'ı), aktin ve tropomiyozin en bol bulunan kas proteinleridir. Her 100 g kas dokusu, yaklaşık 700 mg oksijen bağlayıcı, konjuge protein miyoglobin içerir (McArdle ve ark 2010).

Tek tek kas liflerine paralel uzanan arterler ve damarlar zengin bir damar kaynağı sağlar (Zoladz 2018). Bu damarlar, endomisyum içinde ve çevresinde geniş bir ağ oluşturmak için çok sayıda arteriyole, kılcal damarlara ve venüllere

bölünür (Kelly ve ark 2015). Kan damarlarının geniş dallanması, her bir kas lifinin arteriyel sistemden yeterli oksijenli kan beslemesini ve venöz dolaşımdaki karbondioksitin hızla uzaklaştırılmasını sağlar. Elit bir dayanıklılık sporcusu için en yoğun egzersiz sırasında, kasın oksijen alımı yaklaşık 70 kat artarak yaklaşık dakikada 100 g başına 11 mL veya toplam kas Vo_2' si 3400 mL.dak⁻¹ olabilir. Lokal vasküler yol, bu oksijen ihtiyacını karşılamak için aktif dokular yoluyla büyük miktarlarda kan sağlar. Kan akışı dağılımı, koşma, yüzme veya bisiklete binme gibi ritmik aktivitelerde dalgalanır. Kasın kasılma evresinde azalır ve gevşeme sırasında kanı kaslar boyunca hareket ettiren ve kalbe geri iten bir "sağma hareketi" sağlamak için artar. Daha önce uykuda olan kılcal damarların hızlı genişlemesi, pulsatil kan akışını tamamlar. 200 ile 500 arasında kılcal damar, her bir life doğrudan temas eden dört kılcal damar ile her milimetrekaare aktif kas kesitine kan verir. Dayanıklılık sporcularında, her bir lifi çevreleyen beş ile yedi kılcal damar; bu adaptasyon, gerektiğinde daha fazla lokal kan akışı ve yeterli doku oksijenasyonu sağlar. Zorlama gerektiren fiziksel aktiviteler, kas kan akışı için biraz farklı bir tablo sunar. Bir kas birkaç saniye boyunca kuvvet üretme kapasitesinin yaklaşık %60'ını oluşturduğunda, yüksek kas içi basınç, kasılma sırasında lokal kan akışını engeller. Sürekli yüksek bir kuvvet kasılması için kas içi yüksek enerjili fosfatlar ve glikolitik anaerobik reaksiyonlar, ana enerji kaynağı sağlar (McArdle ve ark 2010).

Tablo1.1. Kas Lifinin Sarkomeri ile İlişkili On İki Protein ve İşlevleri.

Yapı	Protein	Görev
İnce filament	Aktin	Eksitasyon-kontraksiyon eşleşmesi sırasında miyozin ile etkileşime giren ana aktin proteini
	Tropomiyozin	Troponin kompleksinin konformasyonel değişimini aktine dönüştürür.
	Troponin	Ca ²⁺ + 'yı bağlar ve tropomiyozini etkiler; Ca ²⁺ + sinyali çapraz köprü döngüsünü indükleyen bir moleküler sinyale dönüştüren "anahtarı" temsil eder.
	Nebulin	Aktine bitişiktir ve ince bir filaman içinde birbirine bağlanmış aktin monomerlerinin sayısını kontrol bilinmektedir.
Kalın Filament	Miyozin	ATP' yi böler ve miyozin başının "güç çıktısından" sorumludur.
	C Proteini	Miyozin kalın ipliklerini düzenli bir dizide tutar; kuvvet üretimi sırasında bitişik kalın filamentlerin H proteinini eşit bir mesafede tutabilir; ayrıca kalın bir filamentteki

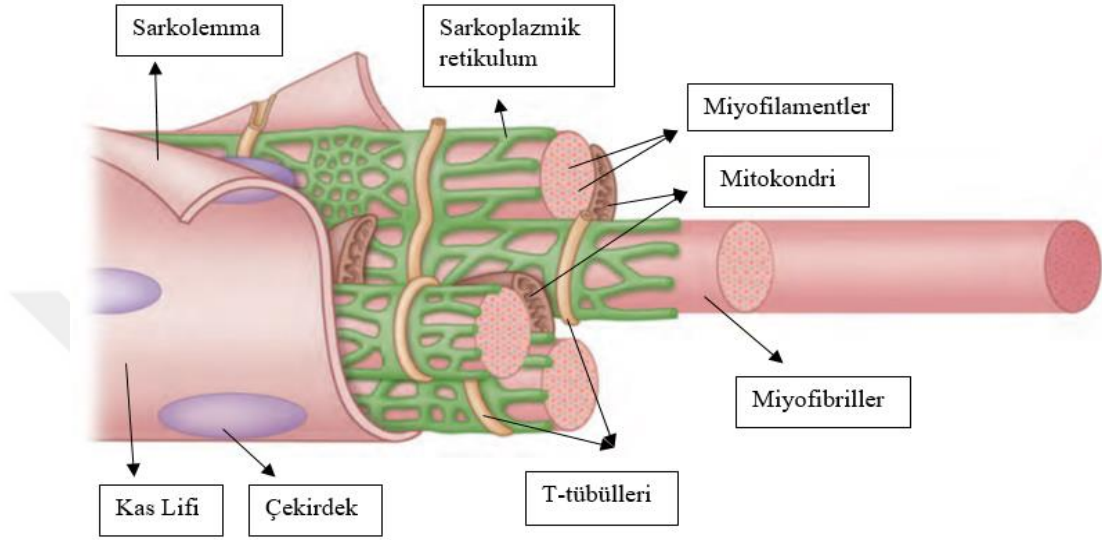
		miyozin moleküllerinin sayısını da kontrol edebilir.
M çizgisi	M Proteini	Düzenli bir dizide kalın filamentleri tutmaya yardımcı olur
	Miyomezin	Protein titini için güçlü bir sabitleme noktası sağlar.
	M-CK	Fosfokreatinden ATP sağlar; miyozin başlarının proksimalinde bulunur.
Z çizgisi	α -aktinin	İnce filamentleri uzamsal olarak yerinde tutar.
	Desmin	Farklı miyofibrillerden gelen bitişik Z hatları arasındaki bağlantıyı oluşturur.
Elastik filament	Titin	Kasılma sırasında kalın filamentin iki Z çizgisi arasında ortalanmasına yardımcı olur; kalın filamentte bulunan miyozin moleküllerinin sayısını kontrol ettiğine düşünülmektedir.

Antrene kasların artan kılcak-kas lifi oranı, dayanıklılık antrenmanı ile geliştirilmiş egzersiz kapasitesini açıklamaya yardımcı olur. Gelişmiş bir kılcak mikrosirkülasyon, oksijen, besin ve hormonların taşınmasını kolaylaştırmanın yanı sıra aktif dokulardan ısı ve metabolik yan ürünlerin uzaklaştırılmasını hızlandırır. Elektron mikroskobu, uzun yıllar dayanıklılık antrenmanı yapan sporcularda, kas başına toplam kılcak damar sayısının (ve kas dokusunun mm^2 'si başına kılcak damarların), antrenmansızlara göre ortalama %40 daha yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. Bu, iki grup arasındaki VO_2max 'daki %41 farka neredeyse eşittir. VO_2max ile ortalama kas kılcak damar sayısı arasında da pozitif bir ilişki vardır. Kılcak düzeydeki artırılmış vaskülarizasyon, yüksek düzeyde sabit hızda aerobik metabolizma gerektiren egzersiz sırasında özellikle yararlı olduğunu kanıtlamaktadır. Egzersiz sırasında artan kan akışından kaynaklanan damar duvarlarındaki vasküler gerilme ve kayma stresi, yoğun aerobik antrenman ile kılcak gelişimi uyarmaktadır (McArdle ve ark 2010).

Miyofibriller ve Filamentler

Her bir kas lifi, miyofibriller adı verilen yüzlerce ile binlerce küçük silindirik birim veya çubuk benzeri iplikler içerir. Miyofibriller, miyofilamentlerden oluşan özel kasılma organelleridir. Bazen basitçe fibril olarak adlandırılan bu miyofibriller, tipik olarak kas hücresinin uzun eksenine paralel uzanır. Miyofibriller, bir kas lifi hacminin yaklaşık %80'ini oluşturur. Her bir miyofibril, miyofibril uzunluğu boyunca tekrar eden bir modelde düzenlenmiş

daha küçük miyofilamentlerden (veya filamentlerden) oluşur. Miyofilamentler, kas kasılmasından sorumlu olan kasılma proteinleridir (kalın ve ince). Miyofilamentler kas proteininin çoğunu oluşturur. Miyofibril boyunca bu miyofilamentlerin tekrar eden paterni, iskelet kasına çizgili görünümünü verir. Her tekrar eden birim bir sarkomer olarak adlandırılır.



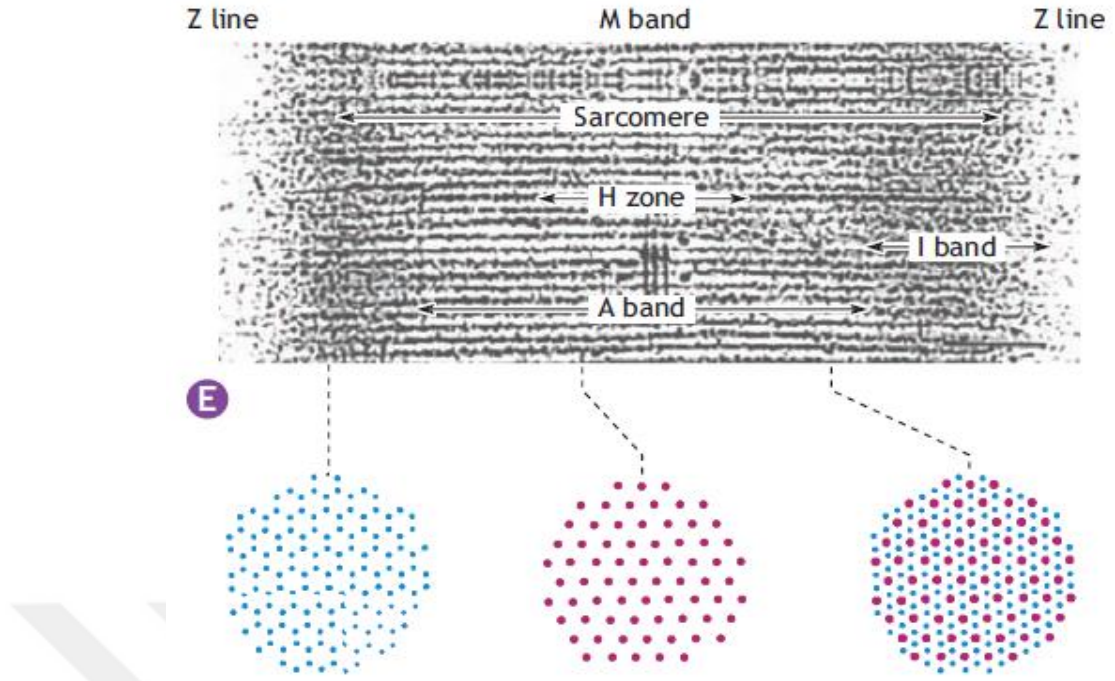
Şekil 1.2. Kas Lifi (Plowman ve Smith 2013).

Sarkomer

Bir sarkomer, bir kas lifinin işlevsel birimidir (kasılma birimi). Her sarkomer, iki tür miyofilament içerir. Kalın filamentlere miyozinden ve ince filamentlere ise aktin denir. İnce filamentler ayrıca düzenleyici proteinler, troponin ve tropomiyozin içerir. Bir elektron mikroskobu ile bakıldığında, miyofilamentlerin dizilişi, değişen açık ve koyu şerit bantları görünümündedir. Işık bantlarına I bantları denir ve yalnızca ince filamentler içerir. Koyu bantlar A bantları olarak adlandırılır ve kalın filamentler A bandının tüm uzunluğu boyunca uzanarak kalın ve ince filamentler içerir. Kalın filamentin uzunluğu böylece A bandının uzunluğunu belirler. Sarkomerin çeşitli bölgelerinin harf isimleri, her birinin görünümünü tanımlayan Almanca kelimenin ilk harfinden türemiştir. Bantların isimleri ışığın içlerinden kırılmasıyla ilgilidir. I bandı, isotropic kelimesinden gelmektedir, bu da bu alanın daha açık görüldüğü, çünkü içinden daha fazla ışık geçtiği anlamına gelir. A bandı, anizotropik özelliklerinden dolayı bu isimle adlandırılmıştır, bu da daha koyu görüldüğü anlamına gelir çünkü çok

fazla ışık geçmez. Bu özellikler, bantlarda bulunan filament tipleriyle ilgilidir. Her bir A bandı, kalın ve ince filamentlerin üst üste binmesinin olmadığı bir H bölgesi (Alman Hellerscheibe'den) tarafından orta bölümde kesilir. Z diski, ince filamentleri bitişik sarkomerlere tutturmaya yarar. Miyofilamentler üç boyutlu alanı kaplar. Kalın ve ince filamentlerin örtüştüğü bölgelerde, her kalın filamanın altı ince filamentle ve her ince filamentin üç kalın filamentle çevrildiğine dikkat edilmelidir (McArdle ve ark 2010, Plowman ve Smith 2013).

Her bir miyozin filamenti, birkaç yüz (yaklaşık 300) çubuk şeklindeki miyozin molekülünden oluşur ve uçlarında, konik uçlarından orta noktalarından yaklaşık 80 nm' ye (nanometre) kadar düzenli olarak düzenlenmiş yan çıkıntılar olarak adlandırılan çapraz köprüler taşır. Koyu bant-M çizgisini içeren pürüzsüz 160 nm uzunluğunda merkez bölge. Çapraz köprüler, miyozin başları, miyozin filamentinin sonundan başlayan helezonik bir düzende düzenlenmiştir. Filamentin ortadaki kısmı, miyozin moleküllerinin yandan kümelenmiş "kuyruklarından" oluşur. M çizgisinin proteinleri, sarkomerlerin kasılmasından sonra ATP' nin geri kazanılmasından sorumlu olan kreatinfosfokinaz enzimlerini temsil eder. M hattında diğer iki protein, miyomesin ve protein M vardır (Zoladz 2018). M çizgisi bölgesi, miyozin filamentleri etrafında kıvrılan ve sarkomerlerdeki miyozin filamanlarını stabilize eden Z çizgisiyle birleşen titin filamentlerin sabitlendiği yerlerdir (Sjöström ve ark 1982).



Şekil 1.3. Sarkomer bantları (McArdle ve ark 2010).

Bir sarkomer, kasılabilen, düzenleyici ve yapısal proteinlerden oluşur. Yapısal proteinler hücre iskeletinin çoğunu oluşturur. Son yıllarda araştırmacılar, oldukça organize ve karmaşık bir sarkomere katkıda bulunan düzinelerce protein tanımlamışlardır (Caiozzo ve Rourke 2012). Sarkomerin hücre iskeletinde bazı önemli yardımcı yapısal proteinler vardır ve yapısal ve kasılma proteinleri arasındaki ilişkiyi gösterir (Billeter ve ark 2003). M çizgisinin ve Z diskinin proteinleri sırasıyla kalın ve ince filamentleri yerinde tutar. Elastik bir filaman olan titin, kasılma sırasında kalın filamentin sarkomerin ortasında kalmasına yardımcı olur. Yapısal proteinler ayrıca sarkomerler ve hücre dışı matris arasında mekanik bağlantı görevi görür. Toplu olarak, bu bağlantı sitelerine “costameres” denir (Caiozzo ve Rourke 2012)

İnce ve Kalın Filamentler

İnce filament, Z çizgisinden sarkomerin merkezine doğru uzanır. İnce filament aslında üç protein molekülünün birleşimidir: aktin, tropomiyozin ve troponin. Aktin proteini, filamentin omurgasını oluştururken, tropomiyozin ve troponin molekülleri, aktin zinciri etrafında spiral bir modelde bulunur. Kalsiyum ile birlikte tropomiyozin ve troponin, bir miyofibrilin gevşemesini veya kasılmasını sürdürmede önemlidir ve sonuç olarak ince filamentin düzenleyici

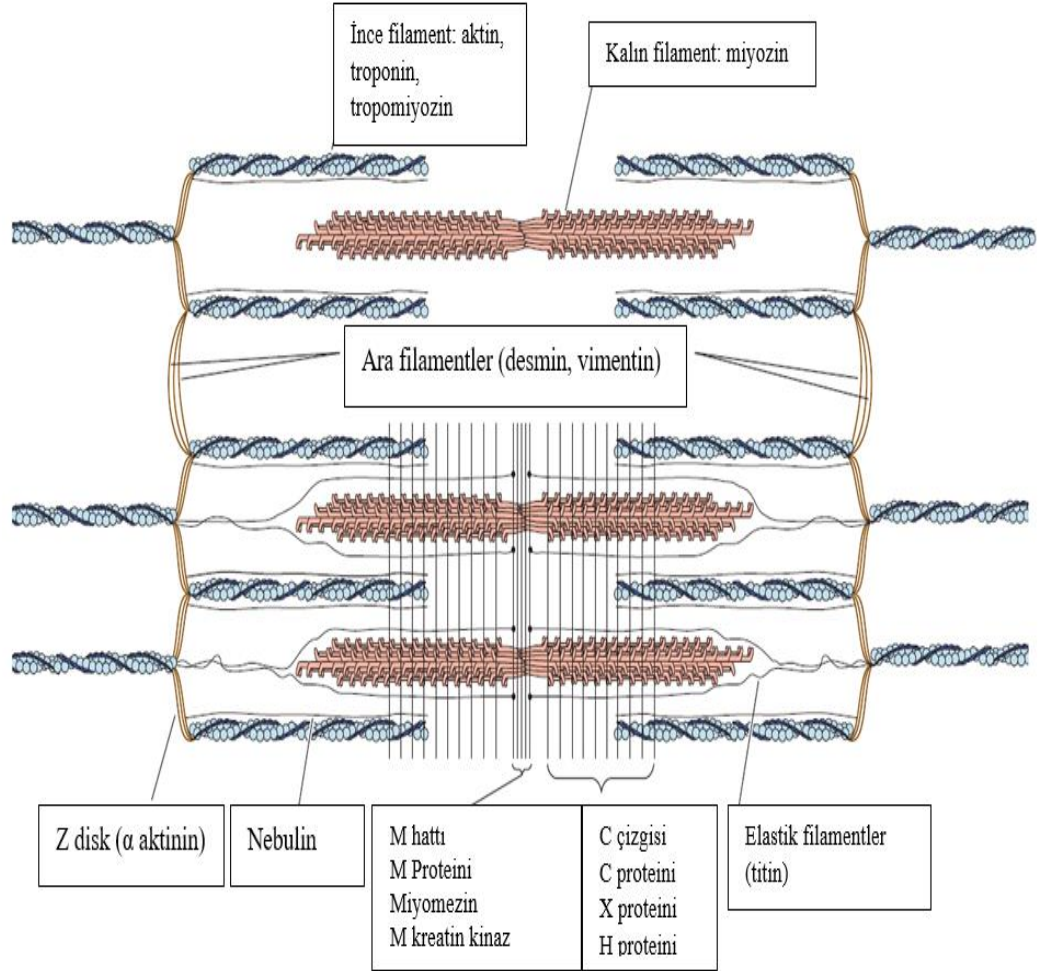
proteinleri olarak anılır. Her ince filament, miyozinin bağlanabileceği, aktif bölgeler adı verilen reseptör bölgeleri ile donatılmıştır (Porcari ve ark 2015).

Kalın filament, birbirine bükülmüş iki miyozin protein ipliğinden oluşur. Titin adı verilen başka bir protein, sarkomerin merkezinde tutmak için Z çizgisine ve kalın filamanın her iki ucuna bağlanır. Kalın filament boyunca aralıklarla düzenlenmiş, iki miyofilamenti birbirine bağlayan bir çapraz köprü oluşturmak için aktin filamenti üzerindeki aktif reseptör bölgelerine bağlanan miyozin başları adı verilen küçük çıkıntılar vardır. Bu bağlantı, kas kasılması için gereklidir (Porcari ve ark 2015).

1.1.2. Titin Proteini

Titin, kasta elastik enerjiyi depolayabilen büyük yapısal bir proteindir (Granzier ve ark 1997). Titinin spesifik yapısı ve elastik doğası son zamanlarda daha iyi anlaşılmıştır (Tskhovrebova ve ark 1997). Ayrıca insan hareketinde depolanan elastik enerjinin kullanımı ve bu sürece sadece tendonun değil kas dokusunun kendisinin de önemli katkısı yeniden değerlendirilmiştir (Witte ve ark 1997). Titin proteini içindeki iki tane yapısal odak alanı vardır. Biri 90 tandem immünoglobulin (Ig) alanları ve PEVK (prolin, glutamik asit, valin, lizin) alanını oluşturan 2,174 kalıntıdır (Labeit ve Kolmerer 1995). PEVK bölgesindeki tandem-Ig alanlarının ve kalıntıların sayısı, titinin moleküler ağırlığını değiştirir ve bu nedenle çeşitli titin izoformları kas elastikiyetini etkiler (Wang ve ark 1991). Elastik kas daha uzun I bantları gerektirir Labeit ve Kolmerer (1995). Bu nedenle, daha elastik kas, daha büyük bir titin izoformundan oluşabilir. Kasılmalar sırasında gereksiz enerji kaybını önlemek için daha kalın titin proteinlerinden yararlanıldığı düşünülmektedir. Son zamanlarda, insan hareketinin depolanmış elastik enerjinin kullanımını içerdiğine dair önemli kanıt bildirilmiştir (Witte ve ark 1997). Ayrıca, bu çalışma, çeşitli türlerin işlevsel morfolojisinin karşılaştırmalı analizlerine dayanarak, elastik enerjinin en az %50'sinin kas dokusunun kendisinden kaynaklandığını göstermiştir (Granzier ve ark 1997, Witte ve ark 1997). Granzier ve ark (1997) kardiyak kası seğirme kuvvetinin % 1'inin, tek başına titinin tandem-Ig alanlarının genişlemesinden kaynaklandığını bildirmiştir. Gerçekte titin, elastik enerji depolama ve yeniden kullanım yoluyla insan hareketine katkıda bulunmada

bu kadar önemli bir rol oynuyorsa, değiştirilmiş titin izoformları yoluyla daha elastik bir kasın daha güçlü bir performansla ilişkili olacağı çalışmalarla ortaya konmalıdır (McBride ve ark 2003).



Şekil 1.4. Sarkomer proteinleri (Plowman ve Smith 2013).

1.1.3. Kayan Filamentler Teorisi

Kas lifleri, aktinin miyozinin üzerinden kayması nedeniyle miyofibrillerinin kısalması yoluyla kasılır. Bu, Z çizgisinden Z çizgisine olan mesafede bir azalma ile sonuçlanır. Kas kasılmasının nasıl gerçekleştiğinin ayrıntılarını anlamak, miyofibrilin mikroskobik yapısının değerlendirilmesini gerektirir. Miyozin çapraz köprülerinin "başlarının" aktin molekülüne doğru yönelmesi önemli noktadır. Aktin ve miyozin filamentleri, miyozinden "kollar"

olarak uzanan ve aktine bağlanan çok sayıda çapraz köprünün hareketi nedeniyle kas kasılması sırasında birbirleri üzerinden kayarlar. Miyozin çapraz köprüsünün aktine bağlanması, miyozin çapraz köprüsünün aktin molekülünü sarkomerin merkezine doğru hareket ettirmesine neden olur. Aktinin miyozin molekülü üzerinden bu "çekilmesi", kas kısalmasını ve kuvvet oluşumunu meydana getirir. Uyarıma-kasılma terimi, bir sinir impulsunun (aksiyon potansiyeli) kas zarına ulaştığı ve çapraz köprü aktivitesi ile kas kısalmasına yol açtığı olaylar dizisini ifade eder (Plowman ve Smith 2013, Powers ve ark 2014, Kenney ve ark 2015).

Kas kasılması için enerji, ATP'nin miyozin ATPase enzimi tarafından parçalanmasından gelir (Kodama 1985, Conley 1994, Holmes 1997, Lieber 2002). Bu enzim, miyozin çapraz köprüsünün "başında" bulunur. ATP'nin ADP'ye ve inorganik fosfata (Pi) parçalanması ve enerjinin serbest bırakılması, miyozin çapraz köprülerine enerji vermeye yarar, bu da aktin molekülleri miyozin üzerine çeker ve böylece kası kısaltır (Ebashi 1991, Vale 1994, Holmes 1997). Bir kastaki tüm çapraz köprülerin tek bir kasılma döngüsünün kası dinlenme uzunluğunun sadece %1'i kadar kısaltacağını unutulmamalıdır (Powers ve ark 2014).

Uyarılma süreci, sinir impulsunun nöromüsküler kavşağa ulaşmasıyla başlar. Motor nörondan gelen aksiyon potansiyeli, asetilkolinin nöromüsküler bağlantının sinaptik yarığına salınmasına neden olur; asetilkolin, motor uç plakasındaki reseptörlere bağlanarak kas hücresinin depolarizasyonuna yol açan bir uç plak potansiyeli oluşturur (Powers ve ark 2014, Saladin ve ark 2014). Bu depolarizasyon (yani eksitasyon), enine tübüllerden kas lifi derinliklerine doğru yapılır. Bu uyarılma süreci, kasın depolarizasyonuna yol açar, bu da kalsiyumun sarkoplazmik retikulumdan kasın sakroplazmasına salınmasına neden olur. Kasılma aksiyon potansiyeli sarkoplazmik retikuluma ulaştığında, kalsiyum salınır ve troponin adı verilen bir proteine bağlanmak için kasın içine yayılır. Bu, kas kasılmasının kontrolünde "tetikleyici" adımdır çünkü kasılmanın düzenlenmesi, aktin molekülü üzerinde bulunan iki düzenleyici protein, troponin ve tropomiyozin tarafından kontrol edilir. Troponin ve tropomiyozin, aktin ve miyozinin etkileşimini kontrol ederek kas kasılmasını düzenler (Kenney ve ark 2015).

Troponin'in doğrudan tropomiyozine bağlıdır. Bu düzenleme, troponin ve tropomiyozinin, miyozin çapraz köprülerinin aktin molekülü üzerindeki bağlanma bölgelerine bağlanmasını düzenlemek için birlikte çalışmasına izin verir. Gevşemiş bir kasta tropomiyozin, miyozin çapraz köprülerinin bir kasılma oluşturmak için bağlanması gereken aktin molekülü üzerindeki aktif bölgeleri bloke eder. Kasılmanın tetiklenmesi, sarkoplazmik retikulumun lateral kese olarak adlandırılan veya bazen terminal sarnıç olarak adlandırılan bir bölgesinden depolanan kalsiyumun (Ca^{2+}) salınmasıyla bağlantılıdır (Tate ve ark 1991, Moss ve ark 1995). Dinlenen (gevşemiş) bir kasta, sarkoplazmada Ca^{2+} konsantrasyonu çok düşüktür. Bununla birlikte, bir sinir impulsu nöromusküler bileşkeye ulaştığında, enine tübüllerden aşağı sarkoplazmik retikuluma gider ve Ca^{2+} salınımına neden olur. Bu Ca^{2+} 'nın çoğu troponin'e bağlanır, bu da tropomiyozin de aktin üzerindeki aktif bölgelerin açığa çıkacağı şekilde bir pozisyon değişikliğine neden olur. Bu, bir miyozin çapraz köprüsünün aktin molekülü üzerine bağlanmasına izin verir (Powers ve ark 2014). Çapraz köprü bağlanması, miyozin molekülü içinde depolanan enerjinin salınmasını başlatır; bu, her bir çapraz köprünün hareketini sağlayarak kas kısılmasına neden olur. Çapraz köprü bağlanması, içinde depolanan enerjinin salınmasını başlatır. Miyozin çapraz köprüsünün aktin molekülünü çekmek için bu hareketi, genellikle "güç darbesi" olarak adlandırılır. ATPase enzimi, miyozin çapraz köprüsüne bağlanan ATP'yi tekrar hidrolize eder (yani, bozar) ve bir aktin molekülü üzerindeki başka bir aktif bölgeye yeniden bağlanmak üzere miyozin çapraz köprüsünü "kurmak" için gerekli enerjiyi sağlar. ATP'nin parçalanması, miyozin çapraz köprüsünü enerjili bir duruma gelmesini ayarlayacak enerjiyi sağlar; "eğik" ve enerjili miyozin çapraz köprüsü artık aktin üzerindeki başka bir açık bağlanma bölgesine bağlanmaya ve başka bir güç darbesi üretmeye hazırdır. Bu kasılma döngüsü, serbest Ca^{2+} troponine bağlanmak için mevcut olduğu sürece tekrar edilebilir ve enerji sağlamak için ATP hidrolize edilebilir. Kasın homeostazı sürdürememesi (örneğin, yetersiz Ca^{2+} seviyeleri ve yüksek hidrojen iyonları nedeniyle), çapraz köprü hareketinin bozulmasına neden olur ve kas lifi kuvvet üretme yeteneğini kaybeder (yani, kas yorgunluğu) (Plowman ve Smith 2013, Powers ve ark 2014).

Kasılmayı durduran sinyal, nöromusküler kavşakta sinir impulsunun olmamasıdır. Bu meydana geldiğinde, sarkoplazmik retikulum içinde bulunan

enerji gerektiren bir Ca^{2+} pompası Ca^{2+} 'yı sarkoplazmik retikulumu geri taşımaya başlar. Ca^{2+} 'nın troponinden bu şekilde uzaklaştırılması, tropomiyozinin aktin molekülü üzerindeki bağlanma bölgelerini kapatmak için geri hareket etmesine neden olur ve çapraz köprü etkileşimi durur (McArdle ve ark 2010).

1.1.4. Kas Fibril Tipleri

İskelet kası, benzer metabolik ve kasılma özelliklere sahip homojen bir lif grubu içermez. Aksine, araştırmacılar, iskelet kasının ATP'yi üretmek için kullandıkları birincil mekanizmalar, motor nöron innervasyonunun türü ve ifade edilen miyozin ağır zincirinin türü bakımından farklılık gösteren iki ana lif türü içerdiğini gösterdiler. Her kas lifi türünün oranları kastan kasa ve kişiden kişiye değişir. Spesifik kas lifi tipini oluşturmaya yönelik yaygın bir teknik, miyozin molekülünün üç farklı formda veya izoformda bulunan ağır zincirini değerlendirir. Değerlendirme, bir lifin, enzim miyozin ATPaz'ın (miyozin fenotipinin bir ölçüsü) değişen pH'ına olan diferansiyel duyarlılığını değerlendirir. Bu enzimin farklı özellikleri, miyozin ağır zincir bölgesinde ATP hidrolizinin hızını ve dolayısıyla sarkomer kısalmasının hızını belirler (McArdle ve ark 2010).

Tip 1 Kas Lifleri

Yavaş kasılan lifler, ağırlıklı olarak ATP yeniden sentezi için enerji üretir aerobik enerji transferi sistemi aracılığıyla. Dört ayırt edici özelliği şunları içerir:

1. Düşük miyozin ATPase aktivitesi,
2. Yavaş kalsiyum işleme yeteneği ve kısaltma hızı,
3. Fast twitch'e göre daha az gelişmiş glikolitik kapasite lifler,
4. Büyük ve çok sayıda mitokondri.

Yavaş kasılan lifler, karakteristik kırmızı pigmentasyonlarını zengin mitokondri kaynaklarından ve yüksek miyogloblin seviyeleri ile birlikte eşlik eden demir içeren sitokromlardan alır. Kasılma özellikleri (kısalma hızı ve kuvvet üretimi) ile ilgili olarak, tip I lifler, hızlı liflere kıyasla daha yavaş bir maksimum kısalma hızına sahiptir (Bottinelli ve ark 1994, Powers ve ark 2014) .Yüksek bir

mitokondriyal enzim konsantrasyonu, yavaş kasılan liflerin gelişmiş aerobik metabolik mekanizmasına yakından bağlıdır. Bu özellikler, yavaş kasılan lifleri yorulmaya son derece dirençli hale getirir ve uzun süreli aerobik egzersizler için uygundur. Lifler, yavaş kısılma hızlarını ve oksidatif metabolizmaya bağımlılıklarını açıklamak için SO (yavaş oksidatif) lifler olarak etiketlenmiştir. Kolayca yorulan hızlı kasılan liflerin aksine, SO lifleri (daha doğrusu motor birimleri) seçici olarak aerobik aktivitelerde görevlendirilir. Kas glikojen tüketim yolları, uzun süreli, yüksek yoğunluklu aerobik egzersizin, yavaş kasılan kas liflerine bağımlı olduğunu göstermektedir. İki lif türü arasındaki oksidatif kapasitedeki farklılıklar aynı zamanda kastaki kan akışının büyüklüğünü de belirler ve en fazla miktarı kan akışını yavaş kasılan lifler alır. (McArdle ve ark 2010). Ayrıca, tip I lifler, hızlı liflerden daha düşük bir özgül kuvvet üretir (Canepari ve ark 2010). Bu gözlemin açıklaması, tip I liflerin, hızlı tip II liflere göre enine kesit alanı başına daha az aktin ve miyozin içermesidir. Bu önemlidir, çünkü bir kas lifi tarafından üretilen kuvvet miktarı, herhangi bir zamanda aktine bağlanan miyozin çapraz köprülerinin sayısı (yani, kuvvet oluşturma durumu) ile doğrudan ilişkilidir. Basitçe ifade edersek, kuvvet üreten çapraz köprüler ne kadar fazlaysa kuvvet üretimi o kadar büyük olur. Bu nedenle, hızlı lifler yavaş liflerden daha fazla kuvvet uygular çünkü lifin enine kesit alanı başına yavaş liflere göre daha fazla miyozin çapraz köprüsü içerirler. Son olarak, tip I lifler hızlı liflerden daha verimlidir. Bu önemlidir, çünkü herhangi bir çalışma hızında, yüksek verimli kas lifleri, daha az verimli liflere göre daha az enerji (yani ATP) gerektirecektir. Yavaş ve hızlı lifler arasındaki verimlilik farkı, muhtemelen yavaş liflerdeki daha düşük ATP devir hızından kaynaklanmaktadır (Coyle ve ark 1992, Powers ve ark 2014).

Tip 2 Kas Tipleri

Tip 2 kas lifleri hızlı kasılan (Tip IIa ve Tip IIx) liflerdir. İnsanlarda iki alt tip hızlı lif bulunur: (1) tip IIx ve (2) tip IIa. Tip IIx lifler (bazen hızlı kasılan lifler veya hızlı glikolitik lifler olarak adlandırılır) nispeten az sayıda mitokondriye sahiptir, aerobik metabolizma için sınırlı bir kapasiteye sahiptir ve yorgunluğa yavaş liflerden daha az dirençlidir (Green 1986). Bununla birlikte, bu lifler, onlara büyük bir anaerobik kapasite sağlayan glikolitik enzimler bakımından oldukça

zengindir (Goldberg ve Pette 1980). Birçok küçük hayvanda (örneğin, sıçanlar) en hızlı iskelet kası lifi, tip IIb liftir. Birkaç yıldır, insan iskelet kasındaki en hızlı lifin aynı zamanda bir "tip IIb" lif olduğuna inanılıyordu. Ancak, insanlardaki en hızlı kas lifinin tip IIx lif olduğu artık tespit edilmiştir. Bilimsel düşüncedeki bu değişimin arkasındaki hikaye şöyledir: 1980'lerin sonunda, Alman ve İtalyan bilim adamları, kemirgen iskelet kasında bağımsız olarak tip IIx adlı yeni bir hızlı kas lifi keşfettiler (Bär ve Pette 1988, Schiaffino ve ark 1989). Kemirgenlerde bu tip IIx lifinin keşfedilmesinden bu yana, bu tür miyozinin yapı olarak insanlardaki en hızlı kas lifinde bulunanlara benzer olduğu belirlenmiştir (Sant'Ana Pereira ve Nerve 1996, Schiaffino ve Reggiani 2011). Bu nedenle tip IIx liflerinden insanlarda en hızlı iskelet kası lifi türü olarak bahsedilebilir (D'Antona ve ark 2006, Powers ve ark 2014).

Tip IIx liflerin özgül kuvveti, tip IIa liflerine benzer, ancak tip I liflerden daha büyüktür (Canepari ve ark 2010). Ayrıca, tip IIx liflerindeki miyozin ATPaz aktivitesi, diğer lif tiplerinden daha yüksektir ve tüm lif tipleri arasında en hızlı kasılabilme performansına sahiptirler. Bunu, tip IIx liflerin tüm kas lifi türlerinin en yüksek güç çıkışını ürettiği izler. Tip IIx lifler diğer tüm lif türlerinden daha az verimlidir. Bu düşük verimlilik, yüksek miyozin ATPaz aktivitesinden kaynaklanmaktadır, bu da yapılan iş birimi başına daha fazla enerji harcamasına neden olur (Coyle ve ark 1992).

İkinci tip hızlı lif, tip IIa lifidir (ayrıca ara lifler veya hızlı oksidatif glikolitik lifler olarak da adlandırılır). Bu lifler, tip IIx ve tip I lifler arasında bir yerde bulunan biyokimyasal ve yorgunluk özelliklerini içerir. Bu nedenle kavramsal olarak, tip IIa lifleri hem tip I hem de tip IIx lif özelliklerinin bir karışımı olarak görülebilir (Powers ve ark 2014).

İnsan iskelet kaslarının kas lifi tipi yapısını araştıran çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Birincisi, lif dağılımında belirgin cinsiyet farklılıkları olmadığı bilinmektedir (Goldberg ve Pette 1980). İkincisi, ortalama sedanter erkek veya kadın yaklaşık %50 yavaş liflere sahiptir. Üçüncüsü, oldukça başarılı güç sporcuları (örneğin sprinterler) tipik olarak büyük oranda hızlı liflere sahipken,

dayanıklılık sporcuları genellikle yüksek oranda yavaş liflere sahip oldukları bilinmektedir (Costill ve ark 1976, Edgerton 1986).

1.2.Kuvvet

Spor alanında kuvvet kasların bir dirence karşı koyabilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Bir enerji kaynağının mevcudiyeti, güç üretme yeteneğinin temel bileşeni olarak kabul edilmektedir (Cannon ve ark 2014). Araştırmalar gösteriyor ki, vücuttaki bu enerjiyi, üçüncü fosfat grubu (γ) ile bitişik fosfatlar arasındaki bağ enerjisini kullandığımız adenosin trifosfatın (ATP) hidrolizinden (bağlanmayı çözme) elde etmekteyiz (Cannon ve ark 2014). Bu bağların içindeki enerjinin, doğal besin kaynaklarımız aracılığıyla vücuda aldığımız karbonhidrat ve lipidlerin işlenmesiyle elde edildiği belirtilmektedir (Hawley ve Leckey 2015). Güç, birim zamanda yapılabilen bir iş olduğu için, maksimum güçten oluşan hareketler veya faaliyetler, nispeten kısa zaman dilimlerini içeriyor gibi görünmektedir (Belli ve ark 2002). Görünüşe göre birincil enerji kaynakları en hızlı erişilebilir olanlardır. Bu kaynaklar, kas içinde depolanan ATP ve kasta depolanan fosfokreatinden fosfat gruplarının aktarılması yoluyla kısa süreli hızlı ATP oluşumundan meydana gelmektedir (Gastin 2001). Ek ATP kaynakları, kas ve karaciğerde depolanan glikozun (karbonhidrat) anaerobik işlenmesinden elde edilebilmektedir. Dayanıklılık aktiviteleri için küçük ila orta güç çıkışlarının sürekli seviyeleri için enerji, ya anaerobik glikolizin (piruvat) son ürünlerinin daha sonra işlenmesinden ya da vücutta adipositlerde depolanan yağ asitlerinin (lipidler) beta oksidasyonundan elde edilebilmektedir (Krebs döngüsü ve elektron taşıma zinciri) (Willis ve ark 2016). Metabolizmanın dışsal güç üretme süreci, kas gücü ve kasılma ile başmaktadır (Sasaki ve ark 2009). Bu kas kısalması, uzuvlarımızın hareket etmesine neden olur ve dış bir nesneyi hareket ettirebiliriz. Uzuvlarımızın hareketi daha sonra dış kuvvetlerin (kollarımız ve bacaklarımız aracılığıyla yere veya dış nesnelere uygulanan kuvvetler) oluşumuna izin verebilir ve bu da tüm vücudumuzun kütle merkezinin sonraki hareketiyle sonuçlanabilir. Vücudumuzdaki bir dokudan güç üretme yeteneğimiz oldukça mucizevi bir süreçtir. Kas bazı yönlerden bir elektrik motoruna benzer, ancak moleküler bir formda olarak düşünülebilir (Månsson ve ark 2015).

Bir moleküler motorun kimyasal enerjiyi (ATP) aldığı ve mekanik işi gerçekleştirmek için kullandığı, tıpkı bir elektrik motorunun mekanik işi, daha spesifik olarak ATP'nin hidrolizi veya-fosfat grubunun çıkarılması için elektrik kullanması gibi, kullandığı belirtilmektedir (Bloemink ve ark 2016). Tek bir çapraz köprü veya miyozin-aktin etkileşimi bağlamında, geliştirilen kuvvet miktarı yaklaşık 4 pN olarak bildirilmiştir (Barclay ve ark 2010). 100 kg'lık bir squat esnasında (220 lb), 981 trilyon pN veya 245 trilyon çapraz köprüden bahsediyor olabiliriz. Her kalın filament proteininde yaklaşık 300 miyozin molekülü olduğu görülmektedir; her molekül, kuvvet üretimi için bağlanan, dönen ve ayrılan iki kafadan oluşur (Suzuki ve ark 2005). Bu kalın filamentlerin bir kasta tekrar eden en küçük fonksiyonel birimi, bir sarkomerini oluşturmak için bir modelde yer aldıkları bilinmektedir. Bazı veriler, kas lifi uzunluğunun 10 mm'si (0,4 inç) başına 2.000-2.500 sarkomer düştüğünü göstermektedir. Kasların uzunlukları oldukça değişken olsa da, bu fibril başına, motor ünite başına ve nihayetinde kas başına düşen çapraz köprülerinin sayısının devasa olduğunu göstermektedir (Williams ve Goldspink 1971).

Kuvvet çıktısı için düzenleyici mekanizmalar, çapraz köprü başına gerçekleştirilen iş miktarını ve bunun hangi zaman çerçevesinde meydana geldiğini belirlemede hayati öneme sahip olabilir. Tüm kasın güç çıkışını belirlemek için çeşitli mekanizma kombinasyonları olduğu bilinmektedir. Düzenleyici mekanizmalar, sinir sistemi ve aksiyon potansiyelleri, kaslara gönderilen elektrik sinyalleri ile başlamaktadır (Morel ve ark 2015). İskelet kasları tipik olarak motor birimlere, yani bir motor nöron ve sinirlendirdiği tüm kas liflerine ayrılır. Ateşleme hızlarının kontrolü, saniyedeki aksiyon potansiyeli sayısı, aynı zamanda hız kodlaması olarak da adlandırılır. Tepe kuvveti ve daha da önemlisi güç veya kuvvet geliştirme oranını (RFD) belirlemede önemli bir bileşen olabilir (Søgaard ve ark 2006). Daha yüksek ateşleme oranları, tipik olarak tek bir hareket potansiyelinin sonucu olarak ortaya çıkan kas kasılması kuvvetinin toplamı yoluyla artan kuvvet oranlarına neden olur (Desmedt ve Godaux 1977). Bu nedenle, bu kas kasılmalarının birbirine göre meydana gelme hızı, tepe kuvveti ve kuvvet gelişim oranının özetleyici modelini belirleyebilir (Croce ve ark 2014). Araştırmalar, kuvvet çıktıının antrenmanlarla değiştirilebileceğini vurgulamaktadır. Kuvvet gelişiminde düzenleme alanları, kas liflerinin

kendilerinin zarı boyunca nörotransmitter salınımı ve aksiyon potansiyellerinin oluşumundan meydana geldiği gibi görünen nöromusküler bağlantı veya boşluğu içerebilir (Deschenes ve ark 2000). Çalışmalar, kas lifi içinde, hem hız kontrollü hem de antrene edilebilir bir fenomen olan sarkoplazmik retikulumdan kalsiyum salınımının ve tutulmasının hız sınırlayıcı olabileceğini göstermektedir (Hunter ve ark 1999). Son olarak, çapraz köprü başı kinetiği hala sınırlayıcı bir faktörümüz olabilir (Miller ve ark 2015). Bu, ATP hidrolizinin hız sınırlayıcı basamakları, miyozin konformasyonel değişiklikleri ve miyozin başının aktine ayrılma-yeniden bağlanma hızları olduğu söylenebilir. Bu nedenle, nöromusküler sistem içinde kuvvetin nasıl işlediğine ve ardından işin nasıl yapıldığına dair çok sayıda tartışma mevcuttur. Kuvveti sarkomer, kas lifi ve tüm kas içinde meydana gelen aşamaları faktörlerin araştırmalarla gerçek bağlamına getirilmesi gerektiği belirtilmektedir (McGuigan 2017) .

1.2.1.Kas Kuvvetini Etkileyen Faktörler

Kas gücü gelişimi birkaç morfolojik ve nöral faktörün kombinasyonu ile desteklenir. Bununla birlikte, kas kuvvetini geliştiren mekanizmalar çok faktörlü olarak kabul edilir ve başlangıç gücü (Balshaw ve ark 2017) antrenman durumu (Buckner ve ark 2017) ve genetik (Yang ve ark 2003) gibi diğer parametrelerden etkilenebilir. Aşağıda belirtilen bilgiler, kas gücünü etkilemek için bir araya gelebilecek morfolojik ve nöral faktörlere kısa bir genel bakış sağlamaktadır. Antrenman faktörlerini tartışmadan önce bu faktörleri anlamak, kas gücü gelişmelerini sağlamak için doruğa ulaşan bu destekleyici faktörlerin her birindeki çeşitli cevapların bağlamını belirler.

Hipertrofi

Literatürdeki çalışma sonuçlar gösteriyor ki, bireyin daha önceden yaptığı antrenmanlarda kaydettiği rezidüel etki gelecekteki antrenman aşamalarını etkilemektedir (Harris ve ark 2000, Issurin 2009). Bu nedenle, kişinin kuvvetini arttırmak için hipertrofinin artırılması, potansiyel ve rezidüel etkileri ile ilgilidir (Minetti 2002, Zamparo ve ark 2002, Stone ve ark 2016). Direnç antrenmanları takip edildiğinde kaydedilen yararların bir sırası ve ilerlemesi vardır. Çalışmalar kasların enine kesit alanını (hipertrofi) ve çalışma kapasitesini (kuvvet üretim

kapasitesini) artmasının ardından (Minetti 2002, Zamparo ve ark 2002, Stone ve ark 2016) üstün güç kazanımları üretilebileceğini vurgulamaktadır (Stone ve ark 2006, Bompa ve Buzzichelli 2018). İskelet kası hipertrofisindeki değişiklikler, bir kasın kuvvet ve güç üretme yeteneğini büyük ölçüde etkileyebilir. Daha büyük mutlak kuvvet üretimi yaratmada daha büyük kas kesit alının önemi konusunda örnek vermek gerekirse; halter gibi vücut ağırlığı sınıflarına sahip sporlar bu gözlemi desteklemektedir. Bunun arkasındaki gerekçe, daha büyük bir kas lif çapının, özellikle Tip II liflerinin, tüm kasın kuvvet- hız özelliklerini değiştirebilmesidir (Campos ve ark 2002, Stone ve ark 2016). Önceki araştırmalar, kas lifi çapının ve daha büyük kuvvet üretimi arasında güçlü ilişkilerin ($r = 0.70$) var olduğunu göstermiştir (Häkkinen ve ark 1989). Daha fazla literatür, kas lif çapının artışlarının ve kas yapısının değişikliklerinin, nispeten sedanter bireylerde, kısa süreli kuvvet antrenmanı sonrasında kuvvet üretimindeki değişikliklerin yaklaşık %50-60'ını oluşturduğunu ileri sürmektedir (Narici ve ark 1989). Fizyolojik olarak, kas lif çapı artışı, daha önce ve yeni oluşan sarkomerlerde aktin ve miyozin arasındaki çapraz köprü etkileşimlerinin sayısındaki artışa bağlı olarak kuvvet üretimini arttırabilmektedir. Kawakami ve ark (1993) çalışmasında kas lifi pennasyon (kaz tüyü) (pennasyon açısı kas tarafından üretilen ve yayılan kuvvetin ana belirteçleridir) açılarının hipertrofik kaslarda normal kaslara göre daha büyük olduğunu belirtmiştir. Daha büyük pennasyon açıları, bölgedeki daha fazla kas fasikülünü tutması nedeniyle çapraz köprü etkileşimlerinin sayısını artırabilir. Kas hipertrofisi ve kuvvet arasındaki ilişkiyi destekleyen çalışmalar bulunsa da, kas boyutundaki ve kuvvetindeki değişikliklerin bireyler arasında da farklılık gösterebileceğine dikkat edilmelidir. Özetle, kas lif çapındaki artışlar, kas yapısı, lif tipi, motor ünitesi aktivasyonu ve kas aktivasyonu gibi diğer sinirsel faktörlerle de kombinasyon içerisindedir (Stone ve ark 1981, Minetti 2002, Zamparo ve ark 2002).

Kas Tendineus

Kuvvet üretimi, kas performansını etkileyen iskelet kaslarının yay benzeri davranışı göstermesiyle gerçekleşmektedir. Dokudaki sertliğin artışı (yani, verilen bir kuvvet ile dokunun maruz kaldığı gerilme miktarı arasındaki ilişki) kuvvet iletimini artırabilir (Butler ve ark 2003). Bu nedenle, tendon sertliği adaptasyonları

(Bojsen-Møller ve ark 2005) ve kas içindeki yapılar (aktin, miyozin, titin ve bağ dokusu gibi) kas kuvveti, kuvvet gelişim hızı (RFD) (Maffiuletti ve ark 2016, Roberts 2016) ve güç (Bojsen-Møller ve ark 2005, Kubo ve ark 2006) gibi ilişkili özellikleri etkiler.

İskelet kas kuvveti oluşumunun yaygın olarak göz ardı edilen bir yönü bulunmaktadır. Aktin, miyozin gibi yapıların yanı sıra kuvveti etkileyen diğer protein yapısı sarkomerin içerisinde bulunan titin proteindir (Powers ve ark 2014). Titin proteininin sarkomerde pasif gerginlik oluşturmaktan sorumlu olduğu (Higuchi ve ark 1988) ve bu nedenle son çalışmalar, kas fonksiyonunda titinin rolünün daha büyük önem taşıdığını öne sürmüşlerdir (Monroy ve ark 2012, Herzog ve ark 2015). Bununla birlikte, artmış sarkoplazmik kalsiyumun titinin sertliğini aktif olarak artırabileceği ve tüm sarkomerin sertliğine katkıda bulunabileceği unutulmamalıdır (Herzog ve ark 2015). Sonuç olarak, kas gücü ve kuvvet iletimindeki değişiklikler, kas içindeki ve çevresindeki doku sertliğindeki değişikliklerden kısmen etkilenebilir.

Motor Ünite Aktivasyonu

Motor ünitelerinin boyutlarına göre (en küçükten büyüğe) sıralı bir şekilde kasılmada görev aldıkları belirtilmektedir. Bu nedenle, belirli bir görev sırasında gereken kuvvetin büyüklüğüne ve kuvvet oranına bağlı olarak motor birimler belli bir sıra ile kasılmaya katılacaklardır (Henneman ve ark 1965). Örneğin, yavaş kasılan tip I lifleri içeren küçük motor üniteleri, daha az kuvvet gerektiğinde kasılmaya katılırken, hızlı kasılan tip IIa / IIb lifleri içeren daha büyük motor üniteleri, yalnızca daha yüksek kuvvetler varsa kasılmaya katılırlar. Kasılma türü ve amacı, hangi motor ünitelerinin kasılmaya katıldığını ve nasıl adapte olduklarını doğrudan etkilemektedir (Duchateau ve ark 2003, Duchateau ve ark 2006). Örneğin, uzun mesafe koşucuları sadece yarış sırasında tekrar tekrar gerekli olan düşük şiddetli kuvvetler kullandığından, tip I lifleri içeren düşük eşikli, yavaş motor üniteleri kasılmaya daha çok katılım göstermektedirler (Powers ve ark 2014).

Yapılan işin doğası gereği, tip II lifler içeren yüksek eşikli motor üniteler, ancak tip I lifler yorulmaya başladığında, aktiviteyi sürdürmek için ek kuvvet

üretimi gerektiğinde kasılmaya katılım gösterirler. Bu nedenle, tip I motor üniteleri kuvvet üretim kapasitesini artırabilirken, maksimum güç üretilmesi gerektiğinde kasılmaya katılan tip II motor üniteleri, antrenman sırasında tip II içeren motor ünitelerinin nadiren kullanılması nedeniyle mesafe koşucularında nispeten düşük olabilir (McArdle ve ark 2010, Plowman ve Smith 2013). Bunun aksine halterciler genellikle yüksek kuvvet gerektiren patlayıcı kuvvet çalışmaları yaptıklarından (örn. Koparma vb.) tip II lifleri içeren motor ünitelerin gelişimi daha fazladır. Önceki araştırmalar balistik tip antrenmanı takiben hem düşük hız koşuda hem de patlayıcı eylemler sırasında motor birimlerinin düzenli olarak kasılmaya katılmasına rağmen, tip I motor birimlerinin daha düşük kuvvet eşiklerinde kasılmaya katıldığını göstermiştir. Güç gelişimi ile ilgili olarak tip 2 kas lifi motor ünitelerinin kasılmaya katıldığı çalışmaların yapılması gerekmektedir (McArdle ve ark 2010). Ayrıca, patlayıcı antrenman yöntemlerinin, daha düşük eşiklerde tip II lifler içeren daha büyük motor ünitelerin kasılmaya katılmasını teşvik edebilir, böylece pozitif kuvvet-güç adaptasyonlarının meydana gelme potansiyelini artırabilir (Van Cutsem ve ark 1998).

Uyarı (ateşleme) Frekansı

Kasılmaya katılacak olan spesifik motor üniteleri belli olduktan sonra, a-motor nöronların motor ünitesinin kas liflerine deşarj eylem potansiyellerinin sıklığı kuvvet üretim özelliklerini değiştirebilirler. Araştırmalar, kasılmaya katılan motor birimlerinin ateşleme frekansı minimumdan maksimuma yükseldiğinde kuvvet büyüklüğünün %300-1500 artabileceğini göstermiştir (Enoka 1995). Ayrıca kuvvet artışının bir nedeni olarak ateşleme frekansının artması çalışmalarda gösterilmektedir (örneğin motor ünitenin deşarjının 5 milisaniyeden az olabilmesi). Sonuç olarak motor ünitelerinin artan ateşleme frekansı kuvvet gelişimine yardımcı olabilir. Önceki araştırmalar, 12 haftalık balistik antrenmanın motor ünite ateşleme sıklığını artırabileceğini göstermişlerdir (Van Cutsem ve ark 1998). Bu nedenle, ağırlık çalışmaları (Leong ve ark 1999) ve sprint (Saplinskas ve ark 1980) gibi diğer balistik antrenman yöntemlerinin, motor ünitelerinin ateşleme frekansını arttırarak sonuçta kuvvet-güç özelliklerine katkı sağlaması mümkündür.

Motor Ünite Senkronizasyonu

Literatür motor ünite senkronizasyonunun, kuvvet gelişimi açısından çok önemli bir parametre olduğunu göstermektedir. Motor ünitelerin eş zamanlı şekilde çalışmaları kuvvet üretimini kısa sürede arttıran bir faktördür. Araştırmalar 6 haftalık direnç antrenmanının motor ünitesi senkronizasyonunu artırdığını göstermiştir (Milner-Brown ve ark 1975), başka bir çalışmada motor ünitesi senkronizasyon gücünün müzisyenlere ve sedanter kişilere göre haltercilerin hem baskın hem de baskın olmayan ellerinde daha büyük olduğunu gösterilmiştir (Semmler ve Nordstrom 1998). Bu bulgular, ağır kuvvet antrenmanlarının motor ünitesi senkronizasyonunu ve kuvvet üretimini artırabileceği desteklenmektedir (Aagaard ve ark 2000).

Literatür kas kuvvetindeki değişikliklerin geleneksel kuvvet antrenmanı ile örtüştüğünü gösterirken, balistik tip antrenmanların motor birim senkronizasyonu üzerine etkilerinin tartışmalı olduğunu göstermektedir. Bir çalışma, balistik tip antrenman sonrasında motor ünitesi senkronizasyonunun değişmediğini (Van Cutsem ve ark 1998), diğer çalışmalar ise balistik görevler sırasında motor ünite senkronizasyonunun arttığını göstermiştir (Van Cutsem ve ark 1998, Semmler ve ark 2000). Sonuç olarak ağır direnç antrenmanlarının veya balistik tip hareketleri içeren antrenmanların motor ünitesi senkronizasyonunu iyileştirebileceği görülmektedir. Kaba motor hareketlerle ilişkili direnç antrenmanların motor ünite senkronizasyonundaki değişiklikleri inceleyen araştırmalar sınırlı olmakla birlikte, iyileştirilmiş nöromusküler aktivasyon paternleri ile kuvvet üretimi arasındaki bağlantı göz ardı edilemez (Suchomel ve ark 2018).

Nöromusküler İnhibisyon

Nöromusküler inhibisyon, istemli kas hareketleri sırasında kas ve eklem reseptörlerinden alınan nöral geri beslemeden dolayı kuvvet üretimini olumsuz yönde etkileyebilecek belirli bir kas grubunun nöral uyarımındaki azalmayı ifade eder (Gabriel ve ark 2006). Önceki sinirsel mekanizmalar kuvvet-güç ile ilgili adaptasyonları pozitif yönlü geliştirirken, kuvvet-güç üretimini olumsuz etkileyen bir diğer nöral mekanizma potansiyel antrenman adaptasyonlarını etkileyebilir. Daha önceki araştırmalar, ağır direnç antrenmanlarının spinal motonöron havuzuna

Ib afferent geri bildirimini azaltacağını, bu da nöromüsküler inhibisyonda azalmaya ve artan kuvvet üretimine yol açabileceğini göstermiştir (Aagaard ve ark 2000).

1.3. İzotonik Kasılma Çeşitleri

Kuvvet sağlamak için çok sayıda yöntem ve şiddet olmasına rağmen, geleneksel kuvvet egzersizleri, bir yükün karşıt yönlerde hareket etmesini (yani: kaldırmak / indirmek) içermektedir. Bu tip egzersizlerde kas kısalır ve daha sonra uzar veya tersi gerçekleşir. Kasın kısaldığı egzersizin fazına konsantrik (KON) faz denir ve kasın uzadığı faz eksantrik (EKS) fazdır (Kelly ve ark 2015). Bir çalışmada KON kasılmalar hareketi başlatan eylemler olarak tanımlanırken, EKS eylemleri hareketi yavaşlatan veya durduran eylemler olarak tanımlanmıştır (Proske ve Morgan 2001). Her iki kas kasılması yoluyla kuvvet üretilse de, KON ve EKS kas hareketlerini benzersiz ve bağımsız çalışmaya değer kılan çok farklı özellikler olduğu çalışmalarla ortaya konmuştur (Kelly Jr 2013).

1.3.1.Konsantrik Kasılma

KON kas etkisi, harici bir yükün üstesinden gelmek ve kas uzunluğunu kısaltmak için yeterli kuvvet üreten kas lifleri ile karakterize edilen kasılma şeklidir. Bu kısılma, bir kas içindeki aktin ve miyozin protein filamentlerinin birbirini üzerinde kayması ile gerçekleşir bu olaya kayan filamentler teorisi denir (Baechle ve Earle 2008). Bu işlem sırasında kalsiyum sarkoplazmik retikulumdan miyofibrile salınır ve troponin ile bağlanır. Bu, tropomiyozinde aktin filamenti boyunca yer alan bir hareketi tetikler ve bu da miyozin çapraz köprü başının aktine bağlanmasına izin verir. ATP'nin hidrolizi, miyozin başının esnemesi için enerji sağlar, aktin filamentini miyozin filamentine üzerine çeker ve sarkomerin uzunluğunu kısaltır. Miyozin başının aktin filamentinden kimyasal olarak ayrılması ve bir sonraki bağlanma ve fleksiyona hazırlık olarak yeniden tutunması için başka bir ATP molekülü gereklidir. Bu süreç, kalsiyum ve ATP mevcut olduğu sürece kas kasılması boyunca sürekli olarak tekrarlanır. Aktin miyozin üzerinde "kilitlendiğinden" kuvvet gelişir ve kas kısalır. Bu sürecin döngüsel doğası nedeniyle, daha hızlı hareketler, güç çıktıların azalmasına neden olur. Billeter ve Hoppeler (Billeter ve ark 2003) bunu, daha yüksek hız kasılmaları

sırasında belirli bir zamanda daha az çapraz köprü oluşumuna bağlamaktadır. Bu nedenle, kuvvet üretme kapasitesi ile KON kas hareketleri sırasında kasılma hızı arasında ters bir ilişki vardır. Eksantrik eylemlerde durum böyle değildir. Aslında, uzatma eylemleri sırasında hız arttıkça kuvvet artar (Kelly Jr 2013).

1.3.2.Eksantrik Kasılma

EKS kas hareketi, harici bir yük aktif bir kas tarafından üretilen kuvvetin üstesinden geldiğinde ve kas zorla uzatıldığında meydana gelir. Bu süreç ve sonuçta ortaya çıkan fizyolojik tepkiler, KON kas kasılmalarından çok farklıdır. EKS kas hareketlerinin meydana geldiği süreç aynı zamanda kas yapılarında daha büyük hasara neden olur ve bu da artan ağrıya ve adaptasyona yol açar (Friden ve Lieber 2001). Kayan filamentler teorisine göre (Huxley ve Niedergerke 1954), bir KON kas hareketi sırasında aktin ve miyozin filamentleri, kas kasılması oluşturmak için bağlanır ve bu bağ ATP tarafından serbest bırakılır. Ancak bir EKS kas hareketi sırasında, bu bağ kimyasal yollardan ziyade mekanik yollarla kırılır (Flitney ve Hirst 1978). KON kas hareketi, ATP'nin miyozin başına bağlanmasını, aktin filamentinden salımını tetiklemesini ve ardından yeniden kurulmasını gerektirirken, EKS eylemi sırasında miyozin başının esasen aktinden zorla ayrılması durumu oluşmaktadır. Bu mekanik olarak zorla ayrılma kas hasarına yol açar ve iki kasılma arasındaki farklı karakteristiklerin (yani: kuvvet çıktılarının, kuvvet-hız eğrisi, yorgunluk, sinirsel modeller) arkasındaki ana mekanizmalardan biri olabilir (Kelly Jr 2013).

Kas kasılması sırasında aktin ve miyozin filamentleri sabit bir uzunlukta kalır ve bir kayma hareketinde ikisi arasındaki örtüşme değişikliğiyle lif uzunluğunda bir değişiklik elde edilir; bu nedenle kas kasılmasının kayan filamentler teorisi denir (Huxley ve Niedergerke 1954). Uygulanan kuvvet, dış yükün üstesinden gelmek için yeterli olduğunda, kas, kalın liflerin merkezine doğru kayan ince liflerle kısalabilir. Hız arttıkça bu süreç miyozin başlarının aktin bağlanma bölgelerine (Komi 1992) maruz kalma süresini azaltır ve böylece oluşabilecek çapraz köprülerin sayısını (yani kuvvet-hız ilişkisi) azaltır. Ancak tek başına çapraz köprü teorisi, EKS kasılma sırasında üretilen daha büyük kuvveti, daha geç yorulmalarını (Edman ve ark 1982) ve eksantrik kasılmaların (Curtin ve ark 1975)

enerjiyi verimli tüketebilme becerisini açıklamakta yetersiz kalmaktadır. EKS kasılmalar sırasında kuvvet çıktılarının izometrik kasılmalardan fazla olması bağlanan çapraz köprülerin sayısındaki farklılıklar ve aktif çapraz köprülerin mekanik olarak ayrılmasıyla açıklanabilir (Linari ve ark 2000). İzometrik ve konsantrik kasılmalar sırasında sadece bir miyozin başı bağlanırken, EKS kasılmalar sırasında tek bir miyozin başındaki artan gerilim ikinci başın aktivasyonunu kolaylaştırabilir. Bu mekanizma, EKS kasılmalar sırasında aktif çapraz köprülerin sayısının iki katına çıkarabildiği ve bunun kasılma şiddetini arttırabileceği düşünülmektedir (Linari ve ark 2000).

EKS kasılmalar sırasında çapraz köprülerin tam bir döngüyü tamamlamadığı varsayılmaktadır (Linari ve ark 2004); çapraz köprü başları aktine bağlı aktif bir durumda askıya alınırlar ve zorla ayrılırlar ve ardından hızlı bir yeniden bağlanma izlerler. EKS kasılmalar sırasında tam bir çapraz köprü döngüsü tamamlanmadığından, kuvveti korumak için daha az ATP gerektiği çalışmalarca vurgulanmaktadır (Huxley 1998). Titin proteininin belirli bölgelerine kalsiyum bağlanmasının sertliğini artırdığı ve ardından EKS kasılmalar üzerine kuvveti artırdığı çalışmalarda gösterilmiştir (Labeit ve ark 2003, DuVall ve ark 2013).

1.3.3.Eksantrik-Konsantrik Kasılmaların Kuvvet Etkisi

İki kasılma türü, kasılma protein seviyesinde farklı kuvvet üretim mekanizmalarını içerir; KON kasılmaya kıyasla EKS kasılma sırasında daha fazla kuvvet üretiminin ana nedenlerinden birini oluşturur. Kas kuvveti gelişimi, kasılma lifleri arasındaki etkileşimin sonucudur. Miyozin ve aktin filamentlerinin üst üste binmesi, optimum sarkomer uzunluğunda meydana gelen maksimum sayıda çapraz köprü oluşumunu sağladığında maksimum kuvvet üretilir (Gordon ve ark 1966, Huxley ve Simmons 1971).

Bir kas tarafından geliştirilen kuvvet sadece sarkomer uzunluğuna ve çapraz köprü oluşumuna değil, aynı zamanda kısılma veya uzama hızına da bağlıdır. Kasılmaların kısaltılması sırasında, üretilen kuvvet her zaman izometrik kasılmalardan daha düşüktür (aynı seviyede kas aktivasyonu için). Bunun nedeni, hareket ne kadar hızlı olursa, oluşan çapraz köprülerin sayısı o kadar azdır ve daha yüksek oranda çapraz köprü ayrılmasıdır demektir (Franchi ve ark 2017).

EKS egzersizler ile kuvvet gelişimin temelini oluşturan mekanizmaların nöral, morfolojik ve yapısal faktörlerin bir kombinasyonu olduğu düşünülmektedir, ancak az sayıda çalışma EKS egzersizi takiben olası nöral adaptasyonları araştırmıştır (Higbie ve ark 1996, Hortobagyi ve ark 1996). Çalışmaların bir kaçı kuvvet gelişimini nöral mekanizmalarla açıklarken diğer çalışmalar EKS kuvvetindeki değişikliklerin artan agonist istemli aktivasyon (Aagaard ve ark 2000) ve azalmış antagonist yoluyla elde edildiğini savunmaktadır (Pensini ve ark 2002).

Kasılma hızı ne kadar büyükse, miyozinin aktine bağlanma süresi o kadar kısa olur. Dahası, hızlı hareketler sırasında, miyozin molekülünün S2 kompleksi (yani, miyozin kuyruğunun küresel başa yakın esnek parçası) (Rayment ve ark 1993) tamamen uzayamayacağından ve bu da S2 kompleksinin sıkışmasına ve kalın filamentin aktin üzerine uyguladığı daha düşük bir çekme kuvvetine neden olacaktır. Hareket hızı 0'a yaklaştığında, sadece daha fazla sayıda çapraz köprü eklenmekle kalmayacak, aynı zamanda miyozin S2 kompleksleri de tamamen gerilecek ve daha büyük kuvvet değerleri üretmek için aktin filamentlerini çekebilecektir (Franchi ve ark 2017) .

Uzama hızının artmasıyla oluşan kuvvet, maksimum izometrik kuvvetin 1.8 katına yakın bir değerde bir platoya ulaşana kadar yükselir (Lombardi ve Piazzesi 1990). In vivo, EKS kas kuvveti, in vitro olarak elde edilen EKS kuvvetten daha düşüktür (maksimum izometrik kuvvetin yaklaşık 1,2 katı) ve bu muhtemelen nöral inhibisyondan kaynaklanmaktadır (Beltman ve ark 2004) yine de, izometrik veya KON kasılmalar tarafından oluşturulan olandan hala daha büyüktür (Westing ve ark 1988).

Nishikawa ve ark (2012) çalışmasında, büyük bir protein olan titinin, elastik potansiyel enerjiyi depolayabilen ve serbest bırakabilen bir iç yay görevi gören kas kasılma mekanizmasına dâhil olabileceğini öne sürmüştür. Çapraz köprüler döngüsü sırasında aktin, miyozin çevrilirken döndüğü gösterilmiştir (Morgan ve RS 1977). Teori, titinin, Ca^{2+} salıverilmesi ile aktive olan ve çapraz köprülerdeki miyozin translasyonu ile döndürüldüğünde aktin filamentine sarılan bir "sargı filamenti" gibi davrandığını belirtmektedir (Monroy ve ark 2012); bu nedenle titin,

EKS kasılmalar sırasında aktin üzerine sarıldığında sertleşmesi yoluyla bir kasın kuvvet oluşumuna "aktif olarak" katılabileceği vurgulanmaktadır.

1.3.4.Eksantrik-Konsantrik Kasılmaların Hormonal Etkileri

Direnç egzersizinin büyüme hormonu (GH) ve testosteron (T) düzeylerinde akut artışlar sağladığı gösterilmiştir (Hakkinen ve Pakarinen 1993, Schwab ve ark 1993, Kraemer ve ark 1998). Bu hormonların direnç egzersizinin stresine duyarlı olduğu gösterilmiştir (Kraemer ve ark 1990) ve protein sentezinin uyarılması da dahil olmak üzere dokuları çeşitli yollarla etkilediği bilinmektedir. Egzersize bağlı GH ve T artışlarının etkileri, dinlenme süresi uzunluğu (Kraemer ve ark 1990, Hakkinen ve Pakarinen 1993), egzersiz yoğunluğu (Kraemer ve ark 1990, Kraemer ve ark 1992, Hakkinen ve Pakarinen 1993), egzersiz hacmi (Gotshalk ve ark 1997) egzersiz sırasında aktive olan kas kütlesi ve miktar gibi çok çeşitli faktörlere bağlıdır (Kraemer ve ark 2001).

Aynı iş yükü altında EKS egzersizlerinin GH ve T hormonu salgılanması açısından KON egzersizlere göre bu hormonları daha az tetikledikleri bildirilmiştir (Durand ve ark 2003) ancak Kraemer ve Castracane (2015) EKS ve KON egzersizlerin GH ve T hormonunu aynı oranda tetiklediklerini bildirmişlerdir. Kasılma çeşidine bakılmadan kasılmanın yavaş yapılması GH' u maksimum seviyede etkilerken, IGF-1 hormonunu ve T hormonunu daha az etkilediği bulunmuştur (Kraemer ve Castracane 2015). Aynı şekilde Calixto ve ark (2014) kuvvet antrenmanlı bireylerin yavaş EKS kasılmalarında daha fazla GH salgıladıklarını belirtmiştir. Aynı çalışma yavaş EKS kasılmaların laktik asit seviyesini daha çok artırdığını belirtmiştir. Bunun nedenini ise glikolitik süreçlerden enerji elde edilmesi ile açıklanacağını vurgulamışlardır (Calixto ve ark 2014).

İnsülin ve kortizol seviyelerinin ise EKS ve KON kasılma egzersizleri ile farklı oranda etkilenmedikleri rapor edilmiştir (Kraemer ve ark 2006). Cook ve ark (2015) insülin seviyelerinin EKS ve KON egzersizlerde aynı oranda etkilendikleri belirtmiştir. Gillies ve ark (2006) ve Goto ve ark (2009) çalışmalarında KON egzersizlerin kortizol seviyelerini artırdığını vurgulamıştır ancak EKS kasılmalarda farklılık belirtmemişlerdir. Hollander ve ark (2003) EKS ve KON

egzersizler sonrası katılımcıların kortizol seviyelerinin iki grupta da düştüğünü ancak EKS grupta daha çok düşüş gösterdiğini belirtmişlerdir.

1.3.5.Eksantrik-Konsantrik Kasılmaların Hipertrofiye Etkisi

EKS kuvvet egzersizleri, yüksek yoğunluklarda yapıldığında, KON antrenmanlara kıyasla hem toplam hem de EKS güçte daha büyük artışlarla ilişkilendirilmiştir (Roig ve ark 2009, Isner-Horobeti ve ark 2013). Her iki kasılma türünün de tek tek yapıldığında hipertrofiye olan etkisi halen tartışılmaktadır. EKS kasılmaları, izometrik ve KON olanlardan daha fazla kas gücü üretme potansiyeline sahiptir; bu nedenle, genel kanı, EKS egzersizlerin, KON ve izometrik egzersizlere kıyasla kas boyutunda ve kuvvetinde daha büyük artışları teşvik etme potansiyeline sahip olabileceği düşünülmektedir (Franchi ve ark 2017). Çalışmalar kas hipertrofisi incelerken farklı metotlar kullanmışlardır. Bunlardan ilki kas çevresinin ölçülmesidir. Duncan ve ark (1989), Komi ve Buskirk (1972) çalışmalarında izokinetik EKS ve KON antrenman etkilerini incelemişler. Duncan ve ark (1989) iki grup arasında hipertrofi açısından anlamlı bir fark bulmazken, Komi ve Buskirk (1972) ise çalışmalarında EKS antrenmanların anlamlı hipertrofi oluşturduğunu vurgulamışlardır. Diğer bir metot anatomik kas kesit alanı MRI gibi yöntemlerle bulunmaktadır (Franchi ve ark 2017). Vikne ve ark (2006) EKS egzersizlerin KON egzersizlere göre hipertrofiyi daha fazla tetiklediğini belirtmiştir. Seger ve ark (1998) EKS egzersizlerin KON egzersizlere kıyasla anatomik kas kesit alanında daha fazla artış ürettiğini, ancak bu yalnızca quadrisepsin distal kısmında bulunurken, KON egzersiz EKS yüklemesine kıyasla orta kısımda anatomik kas kesit alanının daha fazla artışa neden olduğunu bildirmiştir. Üçüncü metot kas hacmi ölçümüdür ve bu metot da MRI kullanılmıştır. Franchi ve ark (2014) çalışmasında quadriseps hacminde artışın EKS ve KON egzersizlerde benzer olduğunu vurgulamıştır. Dördüncü metot kas kalınlığının ölçümü bu ölçüm ultrason taraması yöntemiyle yapılmaktadır. Farting ve ark (2003) çalışmasında EKS egzersizlerin KON egzersizlerden daha fazla kas kalınlığı yarattığını bulmuştur.

2. GEREÇ VE YÖNTEM

2.1.Katılımcılar

Bu araştırmaya gönüllü olarak 35 sedanter birey katılmıştır. Çalışma için Selçuk Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi, girişimsel olmayan klinik araştırmalar etik Kurulu'ndan (21.09.2020/63) gerekli izin alınmıştır. Çalışma öncesinde katılımcıların her birine çalışma ile ilgili karşılaşılabilecek risk ve rahatsızlıkları içeren ayrıntılı bilgi verilmiş, gönüllü onam formu katılımcılara okutulup imzalatılmıştır.

2.1.1.Katılımcı Kriterleri

- *Sağlıklı olma,
- *Erkek olma,
- *8 haftalık antrenmana aralıksız olarak katılabilecek olma,
- *18 -28 yaş arasında olma,
- *Gönüllü olma,

*Çalışma öncesinde 12 ay boyunca günde 1,5 saat ve haftada 4 gün ve üzeri egzersizlerde bulunmama.

*Çalışma başlangıcından itibaren 3 ay öncesine kadar tıbbi tedavi ya da sonuçlara etki edebilecek ilaç, takviye almamış olma.

2.1.2. Katılımcıların Gruplandırılması

Araştırmaya katılacak katılımcıların quadriseps kas kalınlıkları ultrason ve quadriseps kuvvetleri Cybex kuvvet dinamometresiyle ölçüldükten sonra, bu veriler dikkate alınarak benzer kas kalınlığı ve kuvvet ortalamaları olan gruplar oluşturulmuştur. Gruplar 3 farklı deney grubu ve 1 kontrol grubundan oluşmuştur.

Tabakalı randomizasyon yöntemi ile ayrılmış bu gruplar; Eksantrik kasılma grubu (EG) (n=9) * konsantrik ve eksantrik kasılma grubu (KEG) (n=9),

2.2.1. 1RM Ölçümü

Çalışma programına başlamadan önce yüklerin belirlenmesi için katılımcıların 1RM (maksimum kaldırılabilen ağırlık) değerleri belirlenmiştir. Yapılan hareketin nizami olabilmesi için aç ve teknik katılımcılara açıklanmıştır. (Ünlü ve ark 2020)1RM değerleri belirlenirken aşağıdaki aşamalar takip edilmiştir.

- Ölçümden 48 saat önceye kadar şiddetli aktiviteye katılmamaları istenmiştir.
- Kondisyon bisikletinde standart ısınma sağlanmıştır.
- Germe hareketleri yaptırılmıştır.
- Harekete aktif olarak katılan kas gruplarına yönelik yorgunluk oluşturulmadan düşük ağırlıklarla kas grupları aktif edilmiştir.
- 1RM ölçümü öncesi kişilerin kilolarına göre literatürün önerdiği ağırlıklar dikkate alınmıştır. Katılımcıların kaldırabildikleri her nizami ağırlık sonrası yük 5 ila 10 kg artırılmıştır.
- Katılımcıların 5 yorgunluk oluşacağı için 5 den fazla kaldırış yapmalarına izin verilmemiştir.
- KON kasılma türü için 1 RM görsel animasyon izlenerek $60^{\circ} \text{ sn}^{-1}$ hız temposu dikkate alınarak diz ekstansiyonu ile bir kez kaldırabildikleri konsantrik kasılma 1 RM olarak kaydedilmiştir.
- EKS 1 RM katılımcının görsel metronomu izleyerek $60^{\circ} \text{ sn}^{-1}$ hız temposunda diz ekstansiyonu ile bir kez kontrollü bir şekilde yapabildiği EKS kasılma 1 RM olarak kaydedilecektir. EKS kasılma yaparken, katılımcının iniş hızını herhangi bir zamanda kontrol edememesi ya da 1 saniyelik süre dolmadan hareketin bitirilmesi hata olarak kabul edilmiştir (Hollander ve ark 2007).
- Denemeler arası kasılma türlerinin her biri için 2 ila 5 dakika dinlenebilecekleri süre tanınmıştır.

- Antrenmanlar süresince kazanılan kuvvete değerlerine göre yüklerin adapte edilebilmesi için 2 hafta bir 1RM ölçümleri tekrarlanarak yükler bu değerlere göre artırılmıştır.

2.2.2. Yüklenme Türü

Katılımcılar kuvvet çalışması olarak leg ekstensiyon makinesinde tek bacakla, EKS ve kombine uygulamalar yapmıştır. Egzersizde ana kas grubu olarak Quadriseps kaslarının çalışması planlanmıştır. Katılımcıların leg ekstensiyon egzersizlerindeki nizamî açıları gonyometre ile ayarlanmıştır.

Eksantrik Kuvvet Egzersizi

EKS egzersizlerde katılımcıların KON kasılma yapmaması için yük kolu yardımcılar tarafından EKS kasılmanın başlangıç noktasına getirmiştir. Yardımcılar yükü kaldırırken tempo animasyonunu takip etmişlerdir.



Şekil 2.2. A konsantrik kasılma evresi, B eksantrik kasılma evresi.

Kombine (Konsantrik + Eksantrik) Kuvvet Egzersizi

Kombine çalışmada katılımcılar geleneksel KON ve EKS kasılmaları ardı ardına gerçekleştirmişlerdir.

Modifiye Edilmiş Leg Ekstensiyon (Konsantrik + Eksantrik) Kuvvet Egzersizi

Modifiye edilmiş kombine çalışmada katılımcılardan hem KON hem de EKS kasılma gerçekleştirmeleri istenmiştir. Geleneksel kombine egzersizinden farklı olarak yükler eksantrik ve konsantrik 1 RM kasılma tiplerine göre farklı uygulamıştır. Leg ekstensiyon aletine takılan bir aparat ile EKS kasılma evresinde fazladan uygulanacak yük yardımcılar tarafından bu aparata konarak direnç artırılmış ve KON kasılma evresinde bu ekstra yük aparattan alınarak direnç azaltılmıştır.



Şekil 2.3. A konsantrik kasılma evresi, B eksantrik kasılma evresi.

2.2.3. Antrenman Temposu

Antrenman protokolünde egzersizler $60^{\circ} \text{ sn}^{-1}$ temposunda uygulanmıştır. Egzersizler sırasında tempo takibi için bilgisayar ortamında animasyonlar

hazırlanmış ve katılımcılar antrenmanları uyguladıklarında bu animasyonları takip etmişlerdir.



Şekil 2.4. 60° sn^{-1} Tempo Animasyonu Görüntüleri

2.2.4. Antrenman Modeli

Tablo 2.1. Antrenman Modeli

Grup	Çalışma Metodu	1RM%	Tempo	Tekrar Sayısı (yorgunluğa varan)
EG	Eksantrik	80-85	60° sn^{-1}	8-10
KEG	Kombine	80-85 (KON 1RM)	60° sn^{-1}	4-5
MKEG	Kombine	80-85(KON/EKS 1RM)	60° sn^{-1}	4-5

EG: Eksantrik kasılma grubu, KEG: konsantrik ve eksantrik kasılma grubu, MKEG: Modifiye edilmiş konsantrik-eksantrik kasılma grubu

Tabakalı randomizasyon yöntemi ile ayrılmış bu gruplar; Eksantrik kasılma grubu (EG) (n=9) * konsantrik ve eksantrik kasılma grubu (KEG) (n=9), *yükleri 1RM'lerine göre farklı modifiye edilen konsantrik ve eksantrik kasılma grubu (MKEG) (n=9) kontrol grubu (KG) (n=8)

2.3. Antrenman Periyodu

Literatür taramasına göre hipertrofinin ve kuvvetin gelişimi için haftanın en az 3 günü ve 8 ila 12 haftalık antrenman programları uygulandığı görülmüştür (Roig ve ark 2009, Hudelmaier ve ark 2010). Literatür bilgilerin ışığında çalışma periyodu 8 hafta, haftada 3 gün olarak uygulanmıştır.

2.4. Antropometrik Ölçümler

2.4.1. Boy Uzunluğu Ölçümü

Sporcuların boy uzunlukları; anatomik duruşta, çıplak ayak, ayak topukları birleşik, nefesini tutmuş, baş frontal düzlemde, baş üstü tablası verteks noktasına değecek şekilde pozisyon alındıktan sonra, ölçüm, ± 1 mm ölçüm yapan bir stadiometre (Holtain Ltd., UK) ile ‘cm’ cinsinden alınmıştır (Tatlıcı 2017).

2.4.2. Vücut Ağırlığı Ölçümü

Vücut ağırlığı; deneklerden sadece şortla, çıplak ayak ve anatomi duruş pozisyonunda iken ± 100 gr hassasiyetle ölçüm yapan bir baskül (Tanita 401 A, Japan) ile ‘kg’ cinsinden alınmıştır (Tatlıcı 2017).

2.5. Kas Hipertrofi Ölçümü

Kas hipertrofisi değerlendirilmesi için kas kalınlığı Aplio 500 ultrason (frekans 10 MHz) sistemi (Canon [formerly Toshiba] Medical Systems Corporation, Otawara, Japan) kullanılarak ölçümler yapılmıştır. Ölçümlerin standardizasyonu açısından katılımcıların quadriceps kaslarının orta noktası mezura aracılığı ile belirmiş ve kaydedilmiştir. İki ölçümde de aynı noktadan görüntüleme yapılmıştır. Quadricepsde bulunan rektus femoris, vastus intermedius vastus lateralis ve vastus medialis kaslarının kalınlıkları bulunmuş ve ardından toplanarak quadriceps kasının toplam kalınlığı elde edilmiştir.



Şekil 2.5. Ultrason görüntüsü

Ölçümlerin güvenilirliği için ultrason ölçümleri öncesinde katılımcılar sırt üstü uzanmış bir şekilde 1 saat dinlendirildikten sonra ölçümler alınmıştır. Ultrason ölçümleri 10 yıllık uzman olan bir radyolog tarafından yapılmıştır.



Şekil 2.6. Ultrason ölçümü

2.6. İzokinetik Kuvvet Ölçümleri

İzokinetik kuvvet testlerinden önce katılımcıların bacak kaslarının ısınması için 10 dakikalık ısınma yapılmıştır. İzokinetik konsantrik ve eksantrik ölçümler Selçuk Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi kinantropometri Laboratuvarında bulunan güvenilirlik ve geçerliliği yapılmış birçok çalışma ile gösterilmiş olan Cybex NORM (Lumex Inc, Ronkonkoma, New York, USA) izokinetik dinamometre ile yapılmıştır. Katılımcılar dominant bacaklarına göre test koltuğuna doğru pozisyonda oturtulmuş ve cihazın her iki yerinde bulunan el tutma kollarını tutmuşlardır. Eklem hareket açıklığı cihazda ayarlanmıştır.



Şekil 2.7. İzokinetik Kuvvet Ölçümü

Hazırlanan egzersiz protokolüne göre en yüksek izokinetik KON ve EKS diz ekstansiyonu baskın bacakta 2 değişik hareket açısı hızıyla uygulanmıştır. Hazırlanan protokole göre 60°sn^{-1} hızda 5 tekrar ve $180^{\circ}\text{sn}^{-1}$ hızda 10 tekrar maksimal kasılma oluşan diz ekstansiyon yapılmıştır. Benzer protokollerde yapılan çalışmalar neticesinde setler arasında 90 sn dinlenme verilmiştir (García-López ve ark 2007). En iyi dereceler N/m cinsinden kaydedilmiştir.

2.7. İstatistiksel Analiz

Verilerin istatistiki analizlerinde SPSS 24 paket programı kullanılmıştır. Tüm deneklere ait parametrelerinin ortalama değerleri ve standart sapmaları verilmiştir. Araştırmaya ait verilerin normal dağılımları Shapiro-Wilk testi ile test edilmiştir. Normal dağılmayan veri setleri için çarpıklık ve basıklık değerleri kontrol edilmiş ve ± 2 içindekilerin normal dağıldığı kabul edilmiştir. Normal

dağılım gösteren veriler için ikili değişkenlerde paired sample t testi, 2 den fazla değişken karşılaştırılmasında ise tek yönlü varyans analizi (Anova) kullanılmıştır. Farklılıkların hangi gruplardan kaynaklandığının tespitinde ise post hoc testlerden Tukey ve Dunnett's T3 (homojen dağılmayan) testi kullanılmıştır. Normal dağılım göstermeyen verilerde ise Wilcoxon Testi (ikili karşılaştırmalar) ve Kruskal-Wallis testi uygulanmıştır.



3.BULGULAR

Tablo 3.1. Deneklerin fiziksel istatistikleri.

Değişkenler	Zaman	KG	EG	KEG	MKEG	P
		Ort ± SS	Ort ± SS	Ort ± SS	Ort ± SS	
Yaş (yıl)	<i>Ön Test</i>	21,00±2,44	22,22±2,99	21,22±2,86	21,67±2,59	0,800
	<i>Son Test</i>	21,00±2,44	22,22±2,99	21,22±2,86	21,67±2,59	0,800
Boy (cm)	<i>Ön Test</i>	178,13±6,83	178,22±5,95	177,22±4,68	177,00±4,30	0,952
	<i>Son Test</i>	178,13±6,83	178,22±5,95	177,22±4,68	177,00±4,30	0,952
Vücut ağırlığı (kg)	<i>Ön test</i>	80,13±12,14	71,22±9,36	71,89±13,93	75,22±8,16	0,245
	<i>Son Test</i>	82,13±13,83	73,22±8,54	72,56±12,23	76,56±7,76	0,230

EG: Eksantrik kasılma grubu, KEG: konsantrik ve eksantrik kasılma grubu, MKEG: Modifiye edilmiş konsantrik-eksantrik kasılma grubu, KG: Kontrol grubu. Anlamlı farklılık $p<0,05$.

Araştırmaya katılan katılımcıların antrenman periyodu öncesi ve sonrası fiziksel değerleri kıyaslandığında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamıştır ($p>0,05$). Ayrıca gruplar arası parametrelerin karşılaştırılmasına göre (yaş $P=0,800$, boy $P=0,952$, ilk test kilo $P=0,245$ ve son test kilo $P=0,230$) istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır.

Tablo 3.2. Gruplar içi ön-test son-test İzokinetik (60^0 sn^{-1} ve 180^0 sn^{-1}) Kuvvet ve Quadriseps Değerlerinin Karşılaştırılması.

Değişkenler	Zaman	KG	EG	KEG	MKEG
Newton	P değeri	Ort ± SS	Ort ± SS	Ort ± SS	Ort ± SS
60^0 sn^{-1} Konsantrik	Ön Test	218,50±27,53	221,00±41,55	203,11±50,59	204,67±45,19
	Son Test	218,88±37,39	273,33±68,69	245,00±35,11	269,22±29,92
	P	0,964	0,008	0,001	0,002
180^0 sn^{-1} Konsantrik	Ön Test	158,63±31,62	146,22±27,72	147,78±38,92	153,11±12,89
	Son Test	156,38±24,04	183,78±44,66	196,44±34,92	214,67±48,33
	P	0,759	0,005	0,000	0,008
60^0 sn^{-1} Eksantrik	Ön Test	252,38±39,93	259,89±67,44	257,00±27,19	236,67±35,60
	Son Test	243,13±36,84	333,56±88,24	308,11±50,93	354,11±35,60
	P	0,517	0,002	0,004	0,000
180^0 sn^{-1} Eksantrik	Ön Test	236,88±31,29	239,89±55,80	252,00±30,99	243,67±39,84
	Son Test	236,88±46,30	310,89±73,71	299,44±40,55	321,78±38,78
	P	1,000	0,021	0,003	0,008
Quadriseps	Ön Test	95,63±12,97	88,00±14,06	85,22±10,63	86,33±11,47
	Son Test	97,00±14,58	100,22±14,21	95,33±10,05	100,56±10,07
	P	0,181	0,000	0,007	0,008

EG: Eksantrik kasılma grubu, KEG: konsantrik ve eksantrik kasılma grubu, MKEG: Modifiye edilmiş konsantrik-eksantrik kasılma grubu, KG: Kontrol grubu. Anlamlı farklılık $p < 0,05$.

Tablo 3.2’ de grup içi kuvvet ve hipertrofi değerleri karşılaştırılmıştır. Tabloda EG, KEG ve MKEG tüm kuvvet değerlerinin antrenman periyotları sonrasında istatistiksel olarak anlamlı artış gösterdikleri belirtilmiştir ($p < 0,05$). Ancak KG kuvvet değerlerinde anlamlı bir değişime rastlanmamıştır ($p > 0,05$). Hipertrofi verilerinde benzer şekilde EG, KEG ve MKEG anlamlı artış gösterirken, KG istatistiksel bir fark yaratmamıştır.

Tablo 3.3. Grup içi ön-test son-test İzokinetik Kg^{-1} (60^0 sn^{-1} ve 180^0 sn^{-1}) Kuvvet Karşılaştırılması.

Değişkenler Newton	Zaman P değeri	KG Ort $\pm$ SS	EG Ort $\pm$ SS	KEG Ort $\pm$ SS	MKEG Ort $\pm$ SS
$\text{Kg}^{-1} 60^0 \text{ sn}^{-1}$ Konsantrik	<i>Ön Test</i>	2,76 $\pm$ 0,40	3,10 $\pm$ 0,39	2,85 $\pm$ 0,66	2,71 $\pm$ 0,47
	<i>Son Test</i>	2,69 $\pm$ 0,41	3,72 $\pm$ 0,78	3,41 $\pm$ 0,50	3,55 $\pm$ 0,59
	<i>P</i>	0,487	0,011	0,002	0,003
$\text{Kg}^{-1} 180^0 \text{ sn}^{-1}$ Konsantrik	<i>Ön Test</i>	2,00 $\pm$ 0,44	2,06 $\pm$ 0,38	2,07 $\pm$ 0,50	2,04 $\pm$ 0,18
	<i>Son Test</i>	1,93 $\pm$ 0,34	2,50 $\pm$ 0,56	2,74 $\pm$ 0,50	2,84 $\pm$ 0,78
	<i>P</i>	0,413	0,008	0,001	0,007
$\text{Kg}^{-1} 60^0 \text{ sn}^{-1}$ Eksantrik	<i>Ön Test</i>	3,20 $\pm$ 0,66	3,65 $\pm$ 0,78	3,66 $\pm$ 0,59	3,18 $\pm$ 0,64
	<i>Son Test</i>	2,97 $\pm$ 0,25	4,55 $\pm$ 1,07	4,33 $\pm$ 0,94	4,67 $\pm$ 0,75
	<i>P</i>	0,205	0,003	0,008	0,008
$\text{Kg}^{-1} 180^0 \text{ sn}^{-1}$ Eksantrik	<i>Ön Test</i>	3,00 $\pm$ 0,54	3,38 $\pm$ 0,67	3,57 $\pm$ 0,56	3,28 $\pm$ 0,69
	<i>Son Test</i>	2,89 $\pm$ 0,41	4,23 $\pm$ 0,81	4,17 $\pm$ 0,52	4,25 $\pm$ 0,78
	<i>P</i>	0,515	0,021	0,007	0,001

EG: Eksantrik kasılma grubu, KEG: konsantrik ve eksantrik kasılma grubu, MKEG: Modifiye edilmiş konsantrik-eksantrik kasılma grubu, KG: Kontrol grubu. Anlamlı farklılık $p < 0,05$.

Tablo 3.3’ de grup içi Kg^{-1} kuvvet değerleri karşılaştırılmıştır. Tabloda EG, KEG ve MKEG tüm kuvvet değerlerinin antrenman periyotları sonrasında istatistiksel olarak artış gösterdikleri belirtilmiştir ($p < 0,05$). Ancak KG kuvvet değerlerinde anlamlı bir değişime rastlanmamıştır ($p > 0,05$).

Tablo 3.4. Gruplar Arası İzokinetik (60^0 sn^{-1} ve 180^0 sn^{-1}) Kuvvet ve Quadriseps Değerlerinin Karşılaştırılması.

Değişkenler	Zaman	KG	EG	KEG	MKEG	P
Newton		Ort $\pm$ SS	Ort $\pm$ SS	Ort $\pm$ SS	Ort $\pm$ SS	
60^0 sn^{-1} Konsantrik	<i>Ön Test</i>	218,50 $\pm$ 27,53	221,00 $\pm$ 41,55	203,11 $\pm$ 50,59	204,67 $\pm$ 45,19	0,742
	<i>Son Test</i>	218,88 $\pm$ 37,39	273,33 $\pm$ 68,69	245,00 $\pm$ 35,11	269,22 $\pm$ 29,92	0,073
180^0 sn^{-1} Konsantrik	<i>Ön Test</i>	158,63 $\pm$ 31,62	146,22 $\pm$ 27,72	147,78 $\pm$ 38,92	153,11 $\pm$ 12,89	0,937
	<i>Son Test</i>	156,38 $\pm$ 24,04b	183,78 $\pm$ 44,66ba	196,44 $\pm$ 34,92ba	214,67 $\pm$ 48,33a	0,035
60^0 sn^{-1} Eksantrik	<i>Ön Test</i>	252,38 $\pm$ 39,93	259,89 $\pm$ 67,44	257,00 $\pm$ 27,19	236,67 $\pm$ 35,60	0,706
	<i>Son Test</i>	243,13 $\pm$ 36,84b	333,56 $\pm$ 88,24a	308,11 $\pm$ 50,93ab	354,11 $\pm$ 35,60a	0,003
180^0 sn^{-1} Eksantrik	<i>Ön Test</i>	236,88 $\pm$ 31,29	239,89 $\pm$ 55,80	252,00 $\pm$ 30,99	243,67 $\pm$ 39,84	0,472
	<i>Son Test</i>	236,88 $\pm$ 46,30b	310,89 $\pm$ 73,71a	299,44 $\pm$ 40,55ab	321,78 $\pm$ 38,78a	0,011
Quadriseps	<i>Ön Test</i>	95,63 $\pm$ 12,97	88,00 $\pm$ 14,06	85,22 $\pm$ 10,63	86,33 $\pm$ 11,47	0,314
	<i>Son Test</i>	97,00 $\pm$ 14,58	100,22 $\pm$ 14,21	95,33 $\pm$ 10,05	100,56 $\pm$ 10,07	0,771

EG: Eksantrik kasılma grubu, KEG: konsantrik ve eksantrik kasılma grubu, MKEG: Modifiye edilmiş konsantrik-eksantrik kasılma grubu, KG: Kontrol grubu. Anlamlı farklılık $p < 0,05$. Aynı satırda farklı harf taşıyan değerler arası fark anlamlıdır. $p < 0,05$.

Gruplar arası izokinetik kuvvet ve quadriseps değerlerinin karşılaştırılması sonucunda ön test değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamıştır. Grupların son test değerleri arasında farklılık bulunmuştur. 180^0 sn^{-1} konsantrik son test değerleri arasında kontrol grubuna göre MKEG ($P=0,024$) anlamlı artış göstermiştir.

60^0 sn^{-1} eksantrik son test değerleri arasında kontrol grubuna göre MKEG ($P=0,002$) ve EG ($P=0,015$) anlamlı artış göstermiştir. 180^0 sn^{-1} eksantrik son test değerleri arasında kontrol grubuna göre EG ($P=0,030$) ve MKEG ($P=0,011$) anlamlı artış göstermiştir. Ancak Quadriseps son test değerleri arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır.

Tablo 3.5. Gruplar Arası Kg^{-1} (60^0 sn^{-1} ve 180^0 sn^{-1}) Kuvvet Karşılaştırılması

Değişkenler Newton	Zaman	KG Ort $\pm$ SS	EG Ort $\pm$ SS	KEG Ort $\pm$ SS	MKEG Ort $\pm$ SS	P
$\text{Kg}^{-1} 60^0 \text{ sn}^{-1}$ Konsantrik	Ön Test	2,76 $\pm$ 0,40	3,10 $\pm$ 0,39	2,85 $\pm$ 0,66	2,71 $\pm$ 0,47	0,385
	Son Test	2,69 $\pm$ 0,41b	3,72 $\pm$ 0,78a	3,41 $\pm$ 0,50ba	3,55 $\pm$ 0,59a	0,008
$\text{Kg}^{-1} 180^0 \text{ sn}^{-1}$ Konsantrik	Ön Test	2,00 $\pm$ 0,44	2,06 $\pm$ 0,38	2,07 $\pm$ 0,50	2,04 $\pm$ 0,18	0,984
	Son Test	1,93 $\pm$ 0,34b	2,50 $\pm$ 0,56ba	2,74 $\pm$ 0,50a	2,84 $\pm$ 0,78a	0,014
$\text{Kg}^{-1} 60^0 \text{ sn}^{-1}$ Eksantrik	Ön Test	3,20 $\pm$ 0,66	3,65 $\pm$ 0,78	3,66 $\pm$ 0,59	3,18 $\pm$ 0,64	0,279
	Son Test	2,97 $\pm$ 0,25b	4,55 $\pm$ 1,07a	4,33 $\pm$ 0,94a	4,67 $\pm$ 0,75a	0,001
$\text{Kg}^{-1} 180^0 \text{ sn}^{-1}$ Eksantrik	Ön Test	3,00 $\pm$ 0,54	3,38 $\pm$ 0,67	3,57 $\pm$ 0,56	3,28 $\pm$ 0,69	0,324
	Son Test	2,89 $\pm$ 0,41b	4,23 $\pm$ 0,81a	4,17 $\pm$ 0,52a	4,25 $\pm$ 0,78a	0,000

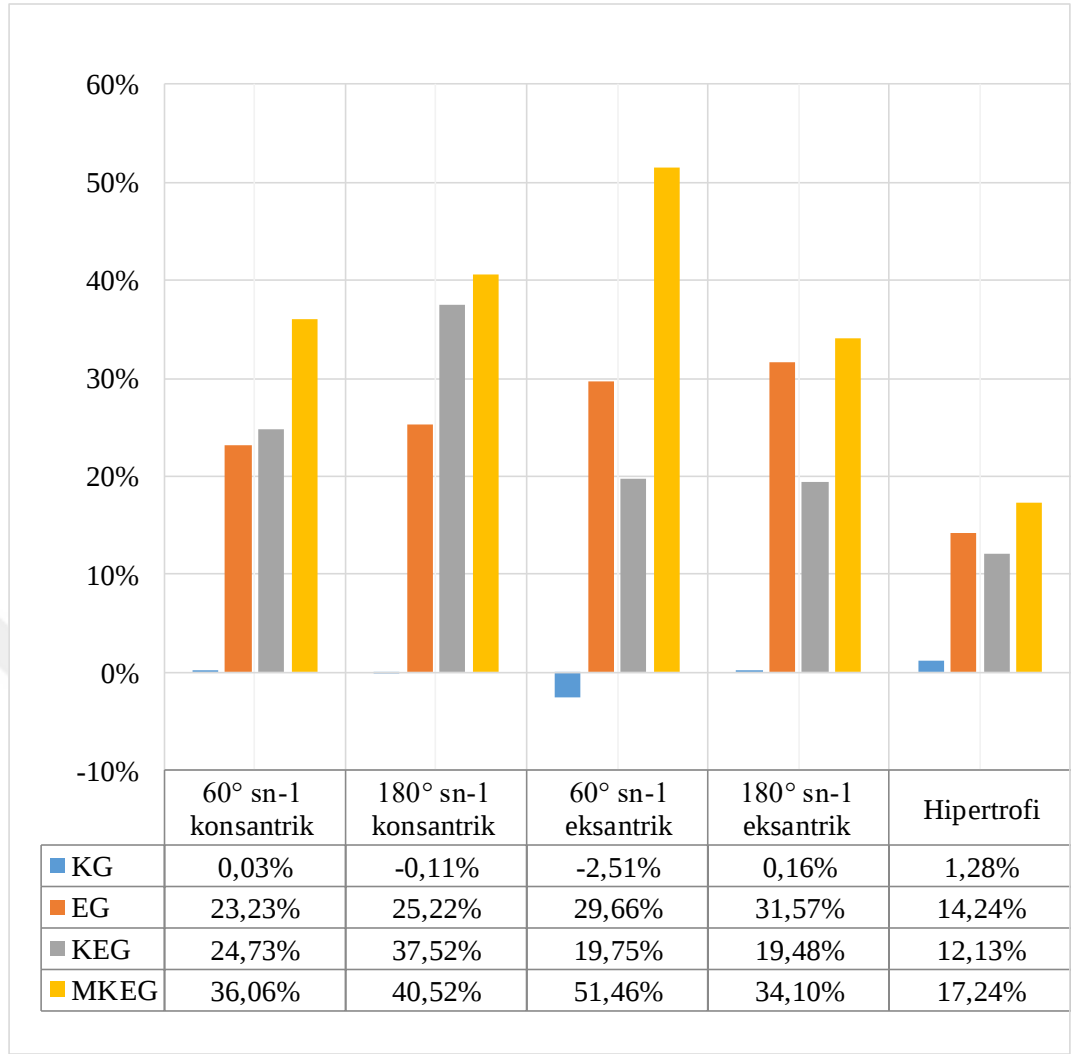
EG: Eksantrik kasılma grubu, KEG: konsantrik ve eksantrik kasılma grubu, MKEG: Modifiye edilmiş konsantrik-eksantrik kasılma grubu, KG: Kontrol grubu. Anlamlı farklılık $p < 0,05$. Aynı satırda farklı harf taşıyan değerler arası fark anlamlıdır. Aynı $p < 0,05$

Gruplar arası Kg^{-1} izokinetik kuvvet değerlerinin karşılaştırılması sonucunda ön test değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamıştır. Grupların Kg^{-1} son test değerleri arasında farklılık bulunmuştur. $60^0 \text{ sn}^{-1} \text{ Kg}^{-1}$ konsantrik izokinetik kuvvet değerleri göz önüne alındığında EG (0,007) ve MKEG (P=0,028) kontrol grubuna göre anlamlı artış göstermişlerdir.

$180^0 \text{ sn}^{-1} \text{ Kg}^{-1}$ konsantrik son test değerleri arasında kontrol grubuna göre KEG (P=0,033) ve MKEG (P=0,015) anlamlı artış göstermiştir.

$60^0 \text{ sn}^{-1} \text{ Kg}^{-1}$ eksantrik son test değerleri arasında kontrol grubuna göre EG (P=0,011), KEG (P=0,013) ve MKEG (P=0,000) anlamlı bir artışa rastlanmıştır.

$180^0 \text{ sn}^{-1} \text{ Kg}^{-1}$ eksantrik son test değerleri arasında kontrol grubuna göre EG (P=0,001), KEG (P=0,002) ve MKEG (P=0,001) anlamlı artış göstermiştir.



Şekil 3.1. Gruplar arası İzokinetik 60° sn⁻¹ ve 180° sn⁻¹ Kuvvet ve Quadriseps Değerlerinin Değişim Oranları.

Şekil 3.1’de grupların ön test ve son testler arasındaki gösterdikleri gelişimler verilmiştir. Tüm izokinetik kuvvet gelişim oranlarında en az gelişim gösteren grup KG olurken en fazla gelişim gösteren grup MKEG olmuştur. Ayrıca konsantrik kasılma testlerinde KEG, EG’ a göre daha yüksek gelişim gösterirken, eksantrik kasılma testlerinde ise EG, KEG’a göre daha yüksek gelişim oranları sergilemiştir. Katılımcıların kas hipertrofisi gelişim oranları ise sırasıyla en yüksek MKEG grubunda belirlenmişken ardından sırasıyla EG, KEG ve KG takip etmektedir.



Şekil 3.2. Gruplar Arası İzometrik Kg^{-1} 60°sn^{-1} ve 180°sn^{-1} Kuvvet Değerlerinin Değişim Oranları.

Şekil 3.2’de grupların Kg^{-1} izometrik kuvvet ön test ve son testler arasındaki gösterdikleri gelişimler verilmiştir. Tüm Kg^{-1} izometrik kuvvet gelişim oranlarında en az gelişim gösteren grup KG olurken en fazla gelişim gösteren grup MKEG olmuştur. Ayrıca konsantrik kasılma testlerinde KEG Kg^{-1} izometrik kuvveti EG’ a göre daha yüksek gelişim gösterirken, eksantrik kasılma testlerinde ise EG, KEG’a göre daha yüksek gelişim oranları sergilemiştir.

4.TARTIŞMA

Araştırmanın sonucunda, 8 haftalık antrenman programı antrenman gruplarının ön-test son test kuvvet ve hipertrofi değerlerini anlamlı artırmıştır. Ancak antrenman gruplarının kuvvet ve hipertrofi değerleri antrenman periyodu sonrasında birbirleri ile anlamlı fark oluşturmamıştır. Her ne kadar anlamlı fark bulunmasa da MKEG gelişim oranları göz önüne alındığında diğer gruplardan oran olarak daha fazla kuvvet ve hipertrofi sağlamıştır.

Çeşitli sporlardaki performansın sonucu, koşma, yön değiştirme, atlama ve spora özgü beceriler sergileme (örneğin, tekme atma, yumruk atma veya topa vurma vb.) gibi bir dizi hızlı, dinamik ve patlayıcı hareketler gerçekleştirme becerisiyle belirlenir. Aslında, kuvvet üretme yeteneği, genel atletik performansı optimize etmek için en önemli faktörler arasında kabul edilmektedir (Morrissey ve ark 1995, Stone ve ark 2002). Genel ve özel spor becerileri ve bunların temelini oluşturan kuvvet özellikleri açısından kas gücünün önemi çok büyük yer elde etmektedir (Suchomel ve ark 2016).

Kuvvetin çeşitli niteliklerle olan ilişkisi göz önüne alındığında, kuvvetin nasıl geliştirileceğine ve kas gücünü etkileyen temel fizyolojik faktörlere ilişkin bilgiler hayati önem taşımaktadır. Antrenörler sporcularının kas kuvvetini artırmak istiyorlarsa, direnç antrenmanı gelişimini etkili bir şekilde planlamak için önce hangi fizyolojik değişikliklerin meydana geleceğini veya gelebileceğini anlamalıdır (Siff 2000). Aralarından seçim yapabileceğiniz çeşitli antrenman yöntemleriyle, antrenörlerin, sporcularının bireysel özelliklerine ve ihtiyaçlarına göre en iyi kuvvet programlarının üretilmesi gerekmektedir (Suchomel ve ark 2018). Çalışmamızda farklı direnç antrenmanı ve farklı yüklerin maksimal kuvvet performansı ve kas hipertrofisi üzerine etkilerini incelemek için 8 haftalık 3 farklı direnç antrenmanı programı uygulanmıştır.

Çalışmamızın kuvvet programları planlanırken farklı kasılma metotları göz önünde bulundurulmuştur. Literatür eksantrik, konsantrik ve bunların kombine olarak kullanıldığı eksantrik-konsantrik kasılmaların bir arada bulunduğu çalışmaların sonuçlarının tartışmalı olduğunu vurgulamaktadır (Douglas ve ark 2017). Farklı kasılmalar üzerine yapılan çalışmalarda, konsantrik, eksantrik ya da

kombine kasılmaların yükleri belirlenirken çoğunlukla geleneksel (belirli tempoda konsantrik olarak kaldırabilen en yüksek ağırlık) 1RM metodu kullanılmıştır (Douglas ve ark 2017). Konsantrik ve kombine kasılma dizaynları için maksimum yük konsantrik 1RM olarak belirlenirken, eksantrik kasılmaların yükleri bu konsantrik kasılmaların %140-150'si olarak belirlenmiş ve yükler bu referans noktalarına göre oranlanmıştır (Kelly ve ark 2015, Ünlü ve ark 2020). Çalışmamızda EG için belirli tempoda eksantrik olarak indirilebilen en yüksek ağırlık 1RM olarak kullanılmıştır. KEG kasılma grubunda literatürdeki 1RM yöntemi kullanılırken (belirli tempoda konsantrik olarak kaldırabilen en yüksek ağırlık) MKEG kasılma grubunda ise yük kaldırılırken (konsantrik evrede) konsantrik 1RM, yük indirilirken ise (eksantrik evrede) eksantrik 1RM referans noktası olarak kullanılmıştır. Bazı çalışmalar eksantrik kasılmaların eksantrik kasılma kuvvetlerini daha çok geliştirirken konsantrik kasılmaları nispeten az geliştirdiğini, konsantrik çalışmaların ise konsantrik kasılmaları daha çok geliştirirken eksantrik kasılmaları daha az geliştirdiklerini savunmuştur (Duncan ve ark 1989, Hawkins ve ark 1999, Blazevich ve ark 2007). Çalışma sonuçlarının literatür ile karşılaştırılabilmesi için izokinetik testler alınırken maksimum konsantrik kasılmanın yanına sıra maksimum eksantrik kasılma kuvveti de ölçülmüştür.

Çalışma kuvvet ve hipertrofinin daha etkin görünebilmesi için literatürde saptandığı gibi antrenmansız (Liu ve ark 2013, Farup ve ark 2014, Franchi ve ark 2014) olan bireyler üzerinde yapılmıştır. Çalışmada katılımcılar ilk ölçümlerden sonra yaş, kilo, boy, kuvvet ve quadriceps kas kalınlıkları açısından bir birlerine benzer olan 4 farklı grup oluşturulmuştur. Çalışmanın amacı bireylerin peak kuvvetlerini maksimize etmek olduğundan, antrenman programları hazırlanırken literatürde etkinliği vurgulanmış olan bitkinliğe ulaştırıcı (Stone ve Coulter 1994, Campos ve ark 2002, Phillips 2009) nitelikli tempo, tekrar sayısı ve setler hazırlanmıştır.

Çalışmamızda 8 hafta yapılan antrenmanlar sonrası $60^{\circ} \text{ sn}^{-1}$ kas konsantrik ve eksantrik izokinetik kuvvetleri antrenman gruplarında anlamlı bir artış gösterirken ($p < 0,05$) kontrol grubunda anlamlı değişiklik gözlenmemiştir. Aynı şekilde $180^{\circ} \text{ sn}^{-1}$ kas konsantrik ve eksantrik izokinetik kuvvetleri antrenman

gruplarında anlamlı artış ($p<0,05$) gösterirken kontrol grubunda anlamlı değişiklik göstermemiştir. Kuvvet gelişimini saptamak için literatürdeki bazı çalışmalar (Yarrow ve ark 2008) serbest ağırlıklar ya da ağırlık makineleri ile ölçümler yapmışlardır. Bir diz ekstansiyon hareketinde kas açıları değiştikçe farklı kuvvet çıktıları oluşturabilirler bu yüzden 1RM testleri bize tüm açıların kuvvet çıktısını veremeyebilir ancak izokinetik dinamometreler hareketin sabit tempolarda her açıda kuvvet çıktılarını tork (Newton metre) cinsinden verebilmektedir (Kelly Jr 2013). Ek olarak, izokinetik kuvvet değerlendirmesi, kuvvet üretiminin ölçümü için oldukça güvenilir bir yöntemdir. Ayrıca çalışmalarda altın standart bir güç değerlendirme yöntemi olarak önerildiğinden çalışmamızda kuvvet ölçümleri izokinetik dinamometre ile yapılmıştır (Abernethy ve ark 1995, Gleeson ve Mercer 1996). Antrenmanlarda kuvvet egzersizlerinin temposu 60° sn^{-1} olduğu için kuvvet testlerinde de aynı tempo tercih edilmiştir. Ayrıca daha yavaş tempo (60° sn^{-1}) ile yapılan egzersizlerin daha hızlı açısal hızlarda etkisini test etmek için $180^\circ \text{ sn}^{-1}$ hızda da kuvvet testi yapılmıştır.

Katılımcılar ilk ölçümlerden sonra dengeli bir şekilde gruplara ayrılmıştır. Antrenmanlar öncesi grupların alınan kuvvet değerleri karşılaştırıldığında, gruplar arası 60 sn^{-1} ($p=0,742$), 180 sn^{-1} ($p=0,937$) konsantrik ve 60 sn^{-1} ($p=0,706$), 180 sn^{-1} ($p=0,472$) eksantrik kuvvet çıktıları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur. Bunun yanında ilk ölçüm Kg^{-1} kuvvet çıktıları arasında da istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur ($p>0,05$). Gruplar arası quadriceps kalınlıklarının ön test değerlerinde de anlamlı bir fark yoktur ($p=0,314$).

Tablo 3.4 de, gruplar arası konsantrik 60° sn^{-1} kuvvet değerleri son testler karşılaştırması, antrenmanların 60° sn^{-1} konsantrik kuvvet artışını anlamlı derece arttırmadığını göstermektedir. Kg^{-1} 60° sn^{-1} konsantrik kuvvet artışlarına bakıldığında EG ve MKEG kuvvet çıktıları KG'na göre anlamlı olarak yüksek bulunmuştur. Ancak değişim oranlarına bakıldığında KG %0,03, EG %23,23, KEG %24,73 ve MKEG %36,06 artış yaptığı görülmektedir. $60^\circ \text{ sn}^{-1} \text{ Kg}^{-1}$ konsantrik kuvvet artış oranları ise KG %-2,17, EG %19,48, KEG %23,16 ve MKEG %33,27'dir. Bu bilgiler ışığında yüzdesel olarak hem izokinetik hem de rölatif kuvvet ele alındığında MKEG en büyük gelişimi kaydederken, KEG ikinci, EG üçüncü ve KG neredeyse hiç artış göstermemiştir. Ünlü ve ark (2020)

çalışmasında 41 rekreatif olarak aktif olan bireylere (yaş 21.1 ± 1.8 yıl) 12 hafta boyunca kuvvet antrenmanı yaptırmıştır. Çalışmada katılımcılar farklı hızlarda ve kasılma çeşitleriyle bacak kuvvet antrenmanı yapmışlardır. Antrenmanlar sonunda 60° sn^{-1} hızda sadece konsantrik maksimum izokinetik kuvvet testi yapılmıştır. Çalışmalarında 12 hafta sonunda yavaş (30° sn^{-1}) ve hızlı ($180^\circ \text{ sn}^{-1}$) eksantrik çalışma grupları ile KON-EKS çalışan kombine grupların izokinetik kuvvet çıktıları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır. Ancak gelişim yüzdesel olarak göz önüne alındığında yavaş eksantrik grup %24,9 (ön test 372 nM, 490 nM), hızlı eksantrik grup %13,5 (ön test 302 nM, son test 430 nM) ve KON-EKS grup %32,5 (ön test 408 nM ve son test 527 nM) olarak artış göstermiştir. Ünlü ve ark (2020) ile çalışmamızın sonuçları örtüşmektedir. Ben-Sira ve ark (1995) çalışmasında 48 antrenmansız kadına (yaş 21.1 yıl) farklı kasılma metotlarıyla 8 hafta boyunca haftada 2 gün antrenman yaptırmışlardır. Antrenmanlar sonucunda grupların kuvvet çıktıları 1RM olarak ölçülerek karşılaştırılmıştır. Antrenmanlar sonucunda EKS ve EKS-KON gruplar arasında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır. Ancak kuvvet gelişimine yüzdelik olarak bakıldığında EKS grup %23 ve EKS-KON grubun ise %19 gelişim gösterdiği vurgulanmıştır. Friedmann-Bette ve ark (2010) antrenmanlı 25 erkek katılımcıya (yaş 24.4 yıl) 6 hafta süresince haftada 3 gün bacak kuvvet antrenmanı yaptırmışlardır. Katılımcıları EKS ve EKS-KON 2 gruba ayırmışlardır. Antrenmanlar öncesinde ve sonrasında kuvvet çıktıları alınmıştır. Antrenmanlar sonunda yapılan kuvvet ölçümlerine göre konsantrik kasılma kuvvetleri iki grup arasında da anlamlı olarak değişim göstermemiştir. Ancak kuvvet gelişim oranlarına göre EKS-KON grubun (%19) EKS gruptan (%16) daha yüksek olduğunu vurgulamışlardır. Bu çalışmanın sonuçları ile çalışmamızın istatistiksel ve oransal değişimleri birbirine benzemektedir. Godard ve ark (1998) çalışmasında rekreasyonel olarak aktif olan katılımcıları EKS grup (9) EKS-KON grup (9) ve kontrol grubu (10) olarak (yaş 22.4 yıl) 3 farklı gruba bölerek 10 hafta boyunca haftada 2 gün kuvvet antrenmanı yaptırmıştır. Antrenmanlar sonunda konsantrik kuvvet çıktıları alınmıştır. Antrenman gruplar arasında konsantrik kuvvet çıktısı açısından anlamlı bir farklılık bulunmazken, kontrol grubu ile olan karşılaştırmalar anlamlı olarak fark göstermektedir (EKS grup %81, EKS-KON grup %82, kontrol grubu %7). Gross ve ark (2010) çalışmamıza benzer olarak eksantrik ve geleneksel

(kon-eks) antrenman metodunun kuvvete etkisini araştırmışlardır. Çalışmada 17,6 yaş ortalamalarına sahip 15 antrenmanlı erkek sporcu yer almıştır ve antrenmanlar 6 hafta boyunca haftada 3 gün sürmüştür. Çalışmada 6 hafta sonunda iki grubunda birbirleri arasında anlamlı bir değişim göstermedikleri vurgulanmıştır. Çalışmamıza benzer olarak kuvvet EKS-KON (%12) grupta EG (%10) göre sayısal olarak daha üstün bulunmuştur. Hortobágyi ve ark (2000) çalışmasında 48 kadın ve erkek antrenmansız bireylere (yaş 20,0 yıl) 12 hafta boyunca haftada 3 gün kuvvet antrenmanı yaptırmıştır. Grupları EKS, KON-EKS, KON ve Kontrol olarak oluşturmuşlardır. Çalışmalarda 10 tekrar ve $60^{\circ} \text{sn}^{-1}$ tempo kullanılmıştır. Kuvvet grupları arasında konsantrik kuvvet testi sonuçlarında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır. Ancak konsantrik kuvvet artış oranlarına bakıldığında EKS %25, KON-EKS % 40 ve KON grupta %44 olarak belirtilmiştir. Literatürde kasılmalar alanında yapılan bahsi geçen bu çalışmaların sonuçları çalışmamızın $60^{\circ} \text{sn}^{-1}$ maksimum konsantrik kuvvet çıktılarıyla benzerlik göstermektedir. Çalışmamız ve diğer çalışmalar gruplar arası anlamlı fark vurgulamasa da maksimum konsantrik kuvvet gelişim oranları konsantrik ve kombine kasılmaların içinde bulunduğu çalışmalarda daha yüksekken sadece eksantrik kasılmaların olduğu gruplarda daha düşük olduğu belirlenmiştir. Hortobágyi ve ark (1996) çalışmasında antrenmansız bireyler üzerinde (ort. 21.3 yıl) EKS ve KON olarak yapılan 12 haftalık direnç (tempo $60^{\circ} \text{sn}^{-1}$) antrenmanın kuvvet üzerine etkilerini incelemişlerdir. EKS kasılma grubunda diz ekstansiyon konsantrik kuvvet çıktılar %33 artış gösterirken KON grubun konsantrik kuvvet artışı %53 oranında olmuştur ancak gruplara arası farkın anlamlı olmadığı vurgulanmıştır. Hortobágyi ve ark (2000) çalışmasında EKS, KON ve KON-EKS ve kontrol grupları oluşturulmuşlardır. Çalışma katılımcıları antrenmansız bireylerden seçilmiş ve erkek ve kadın bireyler çalışmada yer almıştır (ort. yaş 22 yıl). 12 haftalık antrenmanlardan sonra alınan kuvvet verileri karşılaştırılmıştır. Konsantrik diz ekstensiyon kuvveti EKS %25, KON %44 ve KON-EKS grubunda %40 olarak tespit edilmiştir. Ancak gruplar arası karşılaştırmaların anlamlı farklılaşmadığı bulunmuştur. Brandenburg ve Docherty (2002) çalışmasında katılımcıların bir grubuna çalışmamıza benzer olarak KON-EKS geleneksel kuvvet antrenmanı uygularken diğer gruba da KON-EKS uygulamışlardır ancak EKS evredeki kuvvet yükü konsantrik kasılmanın 1RM oranının %120'si üzerinden

hesaplanarak uygulanmıştır. Antrenmanlar 9 hafta sürdürüldükten sonra alınan ölçümlerin analizine göre dirsek ekstansör kasılma testinde EKS evrede yüksek olan grup diğer gruba göre anlamlı bir artış göstermiştir. Gelişim yüzdelere bakıldığında geleneksel kombine grup ilk ölçüme göre %15 artış gösterirken diğer grup %24 artış göstermiştir. Friedmann-Bette ve ark (2010) çalışmamıza benzer olarak geleneksel KON-EKS ve kombine kasılma grupları kullanmışlar ancak kombine kasılma grubunda eksantrik yükü konsantrik kasılma evresinden daha yüksek hesaplanmıştır. Çalışma 6 hafta haftada 3 gün olarak planlanmış ve son testlere göre gruplar arası anlamlı bir fark bulunmamıştır.

Tablo 3.4 deki $60^{\circ} \text{ sn}^{-1}$ eksantrik kuvvet değerleri gruplar arası son testler açısından incelendiğinde, EG ve MKEG grubunun $60^{\circ} \text{ sn}^{-1}$ eksantrik kuvvet değerlerinin kontrol grubu ile istatistiksel olarak farklılaştığı görülmektedir. KG, EG ve KEG gruplarının $60^{\circ} \text{ sn}^{-1}$ eksantrik kuvvet değerleri arasında herhangi bir anlamlı farklılık bulunamamıştır. $\text{Kg}^{-1} 60^{\circ} \text{ sn}^{-1}$ eksantrik kuvvet artışlarına bakıldığında EG, KEG ve MKEG gruplarının değerlerinin KG istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir. Ancak ne $60^{\circ} \text{ sn}^{-1}$ eksantrik kuvvet ne de $\text{Kg}^{-1} 60^{\circ} \text{ sn}^{-1}$ eksantrik kuvvet değerleri antrenman grupları arasında anlamlı bir fark ortaya koymamıştır. Kuvvet gelişim oranları göz önüne alındığında KG %-2,51, EG %29,66, KEG %19,75 ve MKEG' nin ise %51,46 oranında arttığı bulunmuştur. $\text{Kg}^{-1} 60^{\circ} \text{ sn}^{-1}$ eksantrik kuvvet artış oranları ise KG %-4,84, EG %25,84, KEG %18,33 ve MKEG' de ise %48,62 oranında artış göstermiştir. Bu bilgiler ışığında yüzdesel olarak hem izokinetik hem de rölatif $60^{\circ} \text{ sn}^{-1}$ eksantrik kuvvet ele alındığında MKEG en büyük gelişimi kaydederken, EG ikinci, KEG üçüncü ve KG neredeyse hiç artış göstermemiştir. Blazeovich ve ark (2007) çalışmasında katılımcıları (yaş 22,8) sadece eksantrik çalışan, sadece konsantrik çalışan ve kontrol grubu olarak ayırmışlardır. Katılımcılara 10 hafta boyunca haftada 3 gün kuvvet antrenmanı (tempo $30^{\circ} \text{ sn}^{-1}$) yaptırdıktan sonra katılımcıların eksantrik kuvvet değerlerini ölçmüşlerdir. Deney grupları arasında anlamlı bir farklılık bulunmazken kuvvet değişim oranları EKS grupta %39 artarken KON grupta %36 artış göstermiştir. Duncan ve ark (1989) katılımcılara (ort. yaş 23,9 yıl) uyguladığı sadece konsantrik ve eksantrik kasılmaların (tempo $120^{\circ} \text{ sn}^{-1}$) eksantrik kuvvet gelişimine etkisini araştırmışlardır. Çalışma 6 hafta ve haftada 2 gün olarak quadriseps kas gruplarına yönelik yapılmış ve sonuçlar analizine göre $60^{\circ} \text{ sn}^{-1}$

eksantrik izokinetik kuvvet oranı EKS grupta %27.5 iken KON grupta ise %7.2 oranında bulunmuştur. Farthing ve Chilibeck (2003) çalışmasında sadece eksantrik ve konsantrik kasılmalar yanı sıra tempo etkenini de antrenman protokollerine ekleyerek hızlı (tempo $180^{\circ} \text{ sn}^{-1}$) EKS, KON ve yavaş EKS (tempo $30^{\circ} \text{ sn}^{-1}$), KON ve kontrol grubu olarak 5 farklı gruba bölmüşlerdir. Çalışma haftada 3 gün 8 hafta boyunca devam ettirilmiştir. Antrenmanlar sonucunda gelişim oranları hızlı EKS %16, yavaş EKS %6, hızlı KON %-1 ve yavaş KON grupta ise %5 oranında artış göstermiştir. Hawkins ve ark (1999) 30 antrenmansız bireyin bir bölümüne sadece EKS diğer bölümüne sadece KON ve geriye kalanlara ise antrenman yaptırmamıştır. Yaş ortalamaları 21.4 yıl olan bireylere kuvvet antrenmanı 18 hafta ve haftada 3 gün olarak uygulanmıştır. Katılımcıların antrenmanlar sonundaki kuvvet testleri eksantrik diz ekstansiyon ve fleksiyon testleri ile alınmış ve karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalara göre diz ekstansiyon kuvveti EKS grubunda (%22) KON gruba (%17) göre anlamlı artış göstermiştir. Diz fleksiyon eksantrik kasılma kuvvetleri karşılaştırıldığında EKS (%14) ve KON (%13) grup değerleri arasında anlamlı bir farklılığa rastlanmamıştır. Çalışmamızın katılımcı cinsiyetlerinden farklı olarak Higbie ve ark (1996) çalışmalarını 54 antrenmansız kadın üzerinde yapmıştır. Gruplar EKS, KON ve kontrol grubu olarak ayrılmıştır. 10 hafta haftada 3 gün yapılan kuvvet egzersizleri (tempo $60^{\circ} \text{ sn}^{-1}$) sonucunda eksantrik kuvvet testleri karşılatırılmıştır. EKS grubun eksantrik kasılma kuvvetleri (%36) KON grubun eksantrik kasılma kuvvetinden (%13) anlamlı olarak farklılaştığı bulunmuştur. Hortobagyi ve ark (1996) çalışmasında antrenmansız bireler üzerinde (ort. 21.3 yıl) EKS ve KON olarak yapılan 12 haftalık kuvvet (tempo $60^{\circ} \text{ sn}^{-1}$) antrenmanın kuvvet üzerine etkilerini incelemişlerdir. EKS kasılma grubunda diz ekstansiyon eksantrik kuvvet çıktılar %116 artış gösterirken KON grubun eksantrik kuvvet artışı %40 olarak saptanmıştır ve EKS grubun anlamlı yüksek olduğu belirtilmiştir. Hortobágyi ve ark (2000) çalışmasında EKS, KON ve KON-EKS ve kontrol grupları oluşturulmuşlardır. Çalışma katılımcıları antrenmansız bireylerden seçilmiş ve erkek ve kadın bireyler çalışmada yer almıştır (ort. yaş 22 yıl). 12 haftalık antrenmanlardan sonra alınan kuvvet verileri karşılaştırılmıştır. Eksantrik diz ekstensiyon kuvveti EKS %86, KON %20 ve KON-EKS grubunda %70 olarak tespit edilmiştir. Gruplar arası farkların yüksek olduğu görünse de farkın anlamlı

olmadığı vurgulanmıştır. Kaminski ve ark (1998) çalışmasında 27 antrenmansız erkek bireyi (ort. yaş 22.9 yıl) sadece KON, sadece EKS ve kontrol grubu olarak gruplandırılmışlar ve katılımcılara 6 hafta boyunca haftada 2 defa bacak kuvvet antrenmanı uygulamışlardır. Antrenmanlar sonunda deney grupları arasında diz ekstansiyon eksantrik kuvvet çıktıları açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmasa da kuvvet gelişim oranları EKS grupta %30 ve KON grupta %13 olduğu vurgulanmıştır. Miller ve ark (2006) çalışmasında EKS ve KON kasılma grupları oluşturmuşlardır ve antrenman tempoları $60^{\circ} \text{ sn}^{-1}$ hız olarak belirlenmiştir. 20 hafta haftada 3 gün bacak kuvvet antrenmanlarından sonra yapılan kuvvet testlerinde diz ekstansiyon ve fleksiyon parametre çıktılarına eksantrik olarak bakılmıştır. Gruplar arası diz ekstansiyon eksantrik kuvvet çıktıları açısından anlamlı bir fark bulunmazken (EKS %28, KON%12), diz fleksiyon eksantrik kuvvet çıktıları EKS (%40) grupta KON (%20) gruba göre anlamlı daha yüksek bulunmuştur.

Yukarıda belirtilen çalışmaların çoğu çalışmamızı desteklemektedir. Kasılmalar ile ilgili yapılan çalışmaların büyük bir çoğunluğu bizim de sonuçlarımızda bulduğumuz gibi kasılma türünün kullanıldığı egzersizlerin kullanılan o tip kasılmaları daha çok geliştirdiği yönündedir. Diğer bir değişle konsantrik egzersizlerin konsantrik kuvvet çıktıları (Duncan ve ark 1989, Tomberlin ve ark 1991, Higbie ve ark 1996, Seger ve ark 1998, Blazevich ve ark 2007), eksantrik kasılma içeren egzersizlerin ise eksantrik kuvvet çıktıları (Colliander ve Tesch 1990, Tomberlin ve ark 1991, Hortobagyi ve ark 1996, Hawkins ve ark 1999, Miller ve ark 2006) daha çok geliştirdikleri bulunmuştur. Yapılan bir çalışmada daha çok eksantrik kuvvetin kullanıldığı alpin slalom kayakçılarında eksantrik kuvvetin kontrolünün çok daha yüksek olduğu vurgulanmıştır (Vogt ve Hoppeler 2014). Bu çalışmanın da bilgileri ışığında yapılan egzersizdeki kullanılan egzersiz de ya da yapılan spor branşında ki kasılmalar o kasılmanın kuvvetini daha fazla etkilemektedir. Bunun nedeni tam olarak açıklanmasa da sinirsel, motor ünite ve kullanılan sinirsel yolların ve hormon salınım farklılıklarının kendi kasılma kuvvetlerini arttırmış olabileceği düşünülmektedir.

Çalışmamızda MKEG grubun çıktıları diğer gruplara göre anlamlı olmasa da oransal olarak bakıldığında farklı kasılmalarda da diğer gruplardan daha yüksek olduğu bulunmuştur. Geleneksel direnç egzersizleri sırasında bireylerin eksantrik olarak kuvvet üretmeleri konsantrik olarak kuvvet üretmelerinden %20-60 daha güçlüdür. (Hollander ve ark 2007). Roig ve ark (2009) konsantrik ve eksantrik egzersizde kasılmalar arası yoğunluk konsantrik sırasındaki 1RM' nin yüzdesi ile eşitlendiğinde, eksantrik egzersizin yoğunluğunun maksimum potansiyelinin çok altında olduğu vurgulamışlardır. Ayrıca EKS kasılmaların yüklerinin konsantrik kasılmalarla aynı yükte uygulandığı çalışmalarda büyüme hormonunun konsantrik kasılmayla aynı düzeyde olduğunu vurgulamıştır (Kraemer ve ark 2006, Kraemer ve Castracane 2015). Bunun yanında eksantrik kasılmanın fazla olduğu çalışmalarda mekanik yükün fazlalığı motor ünite çıktılarının büyüklüğünü arttırabilir. Eksantrik kasılmalar sırasında benzersiz nöral stratejilerin temelini oluşturan mekanizmalar iyi anlaşılmasa da, muhtemelen supraspinal ve spinal faktörlerin bir kombinasyonundan kaynaklandığı düşünülmektedir (Duchateau ve Enoka 2016). Kortikal (korteks alanı) uyarılabilirlik eksantrik kasılmalar sırasında artmış olduğu belirtilmektedir (Fang ve ark 2004). Efferent motor çıktıları sadece merkezi sinir sisteminden değil aynı zamanda Golgi organlarından, kas içciklerinden, kas afferentlerinden ve Renshaw hücrelerinden gelen tekrarlayan inhibisyonun, eksantrik kasılmalar sırasında azalmış motor aktiviteyi destekleyen birincil mekanizma olduğuna inanılmaktadır. Özetle, eksantrik kasılmalar hem maksimal hem de submaksimal koşullar altında konsantrik kasılmalarla karşılaştırıldığında benzersiz sinirsel stratejiler sergiler (Douglas ve ark 2017). Bu bilgiler ışığında EKS yükün eksantrik 1RM'ye göre uygulanması kasın potansiyel kuvvet çıktılarının MKEG kuvvet çıktılarındaki gibi maksimize edilebileceğini göstermektedir. Bazı çalışmalardaki bazı veriler çalışmamızla çelişmektedir. Yapılan çalışmalardaki antrenman periyodunun uzunluğu, antrenman çeşitleri, test ölçüm alet ve yöntemleri, katılımcıların egzersiz düzeyleri gibi merkezi ve çevresel adaptasyonu etkileyecek etkenler çalışmaların yorumlanmasını sınırlayan faktörler olarak görülmektedir (Roig ve ark 2009).

Çalışmamızda antrenmanlar $60^{\circ} \text{ sn}^{-1}$ tempo kullanılarak yapılmış ve ölçümleri de aynı açısal hız kullanılarak alınmıştır. Literatürdeki bazı çalışmalar

egzersiz sırasındaki kullanılan açısal hızların daha yavaş ya da daha hızlı açısal hızları da farklı derecelerde etkileyebileceğini göstermiştir (Duncan ve ark 1989, Ünlü ve ark 2020) . Bu yüzden çalışmamız yapılan antrenmanların daha hızlı olan $180^\circ \text{ sn}^{-1}$ açısal hızdaki kuvvet çıktılarına etkisini de incelemeyi amaçlamıştır.

$180^\circ \text{ sn}^{-1}$ konsantrik kuvvet değerleri gruplar arası son testler açısından incelendiğinde, sadece MKEG grubunun $180^\circ \text{ sn}^{-1}$ konsantrik kuvvet değerlerinin kontrol grubu ile istatistiksel olarak farklılaştığı görülmektedir. KG, EG ve KEG gruplarının $180^\circ \text{ sn}^{-1}$ konsantrik kuvvet değerleri arasında herhangi bir anlamlı farklılık bulunamamıştır. $\text{Kg}^{-1} 180^\circ \text{ sn}^{-1}$ konsantrik kuvvet artışlarına bakıldığında KEG ve MKEG gruplarının değerlerinin KG'dan istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir. Ancak ne $180^\circ \text{ sn}^{-1}$ konsantrik kuvvet ne de $\text{Kg}^{-1} 180^\circ \text{ sn}^{-1}$ konsantrik kuvvet değerleri antrenman grupları arasında anlamlı bir fark ortaya koymamıştır. Kuvvet gelişim oranları göz önüne alındığında KG %-0,11, EG %25,22, KEG %37,52 ve MKEG' de ise %40,52 oranında arttığı bulunmuştur. $\text{Kg}^{-1} 180^\circ \text{ sn}^{-1}$ konsantrik kuvvet artış oranları ise KG %-2,40, EG %21,84, KEG %35,67 ve MKEG' nin ise %37,59 oranında artış göstermiştir. $180^\circ \text{ sn}^{-1}$ eksantrik kuvvet değerleri gruplar arası son testler açısından incelendiğinde ise, sadece EG ve MKEG gruplarının $180^\circ \text{ sn}^{-1}$ eksantrik kuvvet değerlerinin KG ile istatistiksel olarak farklılaştığı görülmektedir. $\text{Kg}^{-1} 180^\circ \text{ sn}^{-1}$ eksantrik kuvvet artışlarına bakıldığında EG, KEG ve MKEG gruplarının değerlerinin KG istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmektedir. Kuvvet gelişim oranları göz önüne alındığında KG %0,16, EG %31,57, KEG %19,48 ve MKEG' nin ise %34,10 oranında arttığı bulunmuştur. $\text{Kg}^{-1} 180^\circ \text{ sn}^{-1}$ eksantrik kuvvet artış oranları ise KG %-2,22, EG %28,08, KEG %18,09 ve MKEG' nin ise %31,74 oranında artış göstermiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde kuvvet artış oranlarının 60° sn^{-1} açısal hızda olduğu gibi $180^\circ \text{ sn}^{-1}$ açısal hızda da benzerlik gösterdiği görülmektedir. Kuvvet artışları 60° sn^{-1} benzer olarak antrenmanlarda kullanılan kasılma türü ne ise test sırasında kullanılan kasılma çeşidinin de ona göre artışının daha yüksek olduğu saptanmıştır. Diğer bir değişle EKS kasılma grubu eksantrik kuvvet çıktılarında KEG' a göre daha yüksek artış gösterirken, konsantrik kasılma çıktılarında KEG' a göre daha az gelişim göstermiştir. Çalışmalar istemli kasılma yaparken mutlak kaldırabilecekleri yükün eksantrik evrede konsantrik evreye kıyasla daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir (Westing ve Seger 1989, Crenshaw ve ark 1995). Bunun

yanında, konsantrik ve eksantrik egzersizde kasılmalar arası yoğunluk konsantrik sırasındaki 1RM' nin yüzdesi ile eşitlendiğinde, eksantrik egzersizin yoğunluğunun maksimum potansiyelinin çok altında olduğu varsayılmaktadır (Roig ve ark 2009). MKEG antrenman protokolünde konsantrik evre de gerçekleştirildiği için sinirsel uyarılma, motor ünite ateşleme hızları bu kasılma çıktıları içerisinde konsantrik kasılma bulunmayan EG' a göre daha fazla gelişim oranı ortaya çıkardığı düşünülmektedir. Ayrıca MKEG eksantrik evrede, içerisinde eksantrik yükün konsantrik evreyle aynı olduğu KEG'a göre eksantrik evrede daha fazla artış göstermiştir. KEG' un içerisinde eksantrik kasılma evresi olmasına rağmen eksantrik kuvvet çıktılarında az gelişim göstermesinin nedeni olarak eksantrik evrede gelişimi yeterince tetikleyebilecek yük uygulanmadığı düşünülmektedir. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde Ünlü ve ark (2020) çalışmasında EKS (hızlı) grubun $180^{\circ} \text{ sn}^{-1}$ konsantrik kuvvet çıktılarında %15.1 artış, EKS (yavaş) %17, KEG'da %20, KON (hızlı) %15.1 ve KON (yavaş) %16.6 olduğunu bulmuşlardır. Bu çalışmadaki hızlı EKS grup antrenmanları $180^{\circ} \text{ sn}^{-1}$ derece hızda gerçekleştirdiği için $180^{\circ} \text{ sn}^{-1}$ açısal hızdaki izokinetik kuvvet testinde gelişim %15.1 olarak bulunurken, daha yavaş bir açı olan $60^{\circ} \text{ sn}^{-1}$ izokinetik kuvvet testinde gelişim %13.5 olarak daha az bulunmuştur. Yavaş EKS grubu ise antrenmanlarda $30^{\circ} \text{ sn}^{-1}$ hız kullandığı için antrenman hızından 2 kat hızlı olan $60^{\circ} \text{ sn}^{-1}$ açısal hızdaki izokinetik kuvvet testinde gelişim %24.9 olarak bulunmuştur. Ancak kendi antrenmanından 6 kat hızlı bir açı olan $180^{\circ} \text{ sn}^{-1}$ izokinetik kuvvet testinde gelişim %13.5 seviyesine düşmüştür. Buna ek olarak hızlı KON grubu antrenmanları $180^{\circ} \text{ sn}^{-1}$ olmasına rağmen $180^{\circ} \text{ sn}^{-1}$ açısal hızdaki kuvvet çıktıları %15.1 olarak saptanırken, antrenman hızından çok daha yavaş olan $60^{\circ} \text{ sn}^{-1}$ açısal hızdaki kuvvet çıktıları %25.0 olarak zıtlık göstermiştir. Çalışmamızda da bu gibi zıtlıklar bulunmaktadır ancak bu bireysel farklılıklar, spor geçmişinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Duncan ve ark (1989) çalışmasında eksantrik kasılma grubunun $180^{\circ} \text{ sn}^{-1}$ eksantrik kuvvet gelişimlerini % 25.1 bulurken, konsantrik kuvvet gelişimlerini %1.2 düzeyinde bulmuşlardır. Konsantrik kasılma grubunun $180^{\circ} \text{ sn}^{-1}$ eksantrik kuvvet gelişimlerini % 7.8 bulurken, konsantrik kuvvet gelişimlerini de %7,8 düzeyinde bulmuşlardır.

Katılımcıların quadriseps hipertrofi ölçümleri ultrason cihazı kullanılarak yapılmıştır. Antrenmanlar öncesinde gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı

bir fark olmadığı gibi antrenmanlar sonundaki hipertrofi karşılaştırmalarında da anlamlı bir fark bulunamamıştır. Ancak gelişim oranları incelendiğinde KG %%1,28, EG %14,24, KEG %12,13, MEKG %17,24 olduğu görülmektedir. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, Blazeovich ve ark (2007) çalışmasında EKS ve KON antrenman gruplarının 10 haftalık kuvvet antrenmanları sonunda deney grupları arasında kesit alanı (hipertrofi) açısından anlamlı bir fark olmadığını vurgulamıştır. Franchi ve ark (2014) çalışmasında EKS ve KON antrenmanların gruplarının 10 haftalık bacak kuvvet antrenmanında sonra kas kesit alanlarının istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde artış göstermediğini bulmuşlardır. Friedmann-Bette ve ark (2010) çalışmasında katılımcıları EKS ve KON-EKS olarak iki gruba ayırdıktan sonra 6 hafta haftada 3 gün bacak antrenmanı yaptırmıştır. Antrenmanlar sonucuna göre hipertrofi açısından gruplar arasında anlamlı bir farklılık bulunmamaktadır. Godard ve ark (1998) 10 haftalık kuvvet antrenmanından sonra EKS ve KON-EKS grup hipertrofi gelişimi açısından anlamlı bir fark bulamamıştır. Higbie ve ark (1996) çalışmasında $60^{\circ} \text{sn}^{-1}$ açisal hızda 10 haftalık bacak kuvvet antrenmanlarından sonra EKS grubun hipertrofi artışının (%7) KON gruba göre (%5) daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Hortobágyi ve ark (1996) çalışmasında $60^{\circ} \text{sn}^{-1}$ açisal hızda 12 haftalık bacak kuvvet antrenmanlarından sonra EKS grubun hipertrofi artışının (%38) KON gruba göre (%3) (Hortobágyi ve ark 2000)) daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Hortobágyi ve ark (2000) çalışmasında 12 hafta haftada 3, gün yapılan farklı kasılma türlerinin kas hipertrofisi üzerine etkilerini incelemişlerdir. Antrenman periyodu sonrasındaki tip2x kas lifi dağılımının EKS grupta %16, KON-EKS (%10) ve KON gruba göre (%5) anlamlı artış olduğunu bulmuştur. Moore ve ark (2012) ise 9 haftalık kuvvet antrenmanlarından sonra EKS grupta %7 ve KON grupta %5' lik artış bulmuştur ancak farkın anlamlı olmadığını bildirmişlerdir. Vikne ve ark (2006) 12 haftalık kuvvet antrenmanlarından sonra Biseps kas kesit alanlarını karşılaştırmış ve EKS grubun (%11) KON gruptan (%3) istatistiksel olarak anlamlı artış bulunduğunu belirtmiştir. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde birçoğunda anlamlı bir fark bulunmamıştır ancak gelişim oranlarının EKS gruplarda KON gruplara göre daha fazla olduğu göze çarpmaktadır. Ayrıca çalışmaların bir bölümü EKS çalışmaların KON ve KON-EKS çalışmalardan göre daha fazla hipertrofi oluşturduğunu vurgulamıştır.

Vücutta mevcut halde bulunan iskelet kası lifleri mekanik yüklenmeye karşı kesit alanlarının artırmaktadırlar. Ağır yüklenme egzersizleri ile oluşan hipertrofi, protein translasyonunun, anabolik mekanizmalara dahil olan gen regülasyonlarının artışının ve uydu hücre aktivasyonu/ proliferasyonunun bir ürünüdür (Friedmann-Bette ve ark 2010). Mekanik bir sinyalin (yani kasılma sırasında üretilen) bir moleküler olaya dönüşümü gen ekspresyonunu ve protein sentezini / bozunmasını düzenleyen yolları aktive etmek ve/veya bastırmak için bir sinyalleme kaskadındaki birincil ve ikincil habercilerin düzenlenmesini içerir (Coffey ve Hawley 2007). Proteinler, yetişkin kasında bile sürekli olarak sentezlenir ve parçalanır, bu nedenle protein birikimi, sentezlenen protein oranının artması ve protein yıkımının azalması oranından kaynaklanır. Antrenmandan kaynaklı hipertrofik sinyale üç faktörün aracılık ettiği bilinmektedir bunlar; mekanik gerginlik, kas hasarı (yani egzersize bağlı kas hasarı (EBKH) ve metabolik stres (Schoenfeld 2010). Eksantrik egzersizlerin hipertrofiyi daha fazla etkilemesi, eksantrik kasılmaların konsantrik kasılmalara göre daha fazla mekanik gerilim ve EBKH oluşturmalarından kaynaklanmaktadır (Eliasson ve ark 2006). Yüksek mekanik gerilim seviyeleri, miyofibriller ve uydu hücrelerindeki anabolik moleküler ve hücresel aktiviteyi arttırmak için mekanokimyasal bir sinyali indükler; kasılma elemanlarından kaynaklanan aktif gerilimin birleşik etkileri ve hücre dışı matris ve titin içindeki kolajen içeriğinden gelen pasif gerilimin (yani, gerilmeyle indüklenen), protein sentezi için daha güçlü bir sinyali indüklediğine inanılmaktadır (Toigo ve Boutellier 2006). İlave olarak, titinin Z-çizgisi bölgesinde algılanan eksantrik kasılmalarından kaynaklanan esnemeyle indüklenen gerginlik, spesifik bir anabolik sinyal yanıtını ortaya çıkardığı düşünülmektedir (Kumar ve ark 2002, Coffey ve Hawley 2007). Yapılan çalışmalar eksantrik ve konsantrik kasılmaların eşit olduğu yüklerde büyüme hormonu salınımının benzer olduğu vurgulanmıştır (Kraemer ve ark 2006). Kraemer ve Castracane (2015) çalışmasında aynı yüklerin konsantrik ve eksantrik antrenmanlardan sonra benzer büyüme ve testosteron hormonu salınımına neden olduğunu belirtmiştir. Ancak eksantrik yükün konsantrik 1RM' ye göre daha fazla verilerek yapılan egzersizlerde kan laktatının ve büyüme hormonunun daha fazla salınım gösterdiği bulunmuştur (Ojasto ve Hakkinen 2009). Literatürdeki bilgiler ışığında eksantrik yükün yüksek olduğu EG ve MKEG' larda mekanik yükün ve kas hasarının fazla

olduğu düşünölerek kas hipertrofinin KEG ve KG'na göre daha oransal olarak daha fazla olduğu düşünölmektedir. Ayrıca MKEG'da konsantrik kasılmanın da bulunması konsantrik evrede tutunan çapraz köprü başlarının eksantrik yükün çok daha ağır olduğu evrede kopmalara neden olarak ve kas hasarına daha fazla neden olduğu ve bu yüzden EG'a göre hipertrofi oranın artışının daha fazla oluğu düşünölmektedir. Ayrıca MKEG ve EG' da daha hipertrofinin görölmesinin fazla yükle yapılan eksantrik çalışmaların büyüme hormonunun daha fazla tetikleyeceğinden olabileceği düşünölmektedir. Ayrıca çalışmalar eksantrik çalışmaların sadece kasın çapını arttırmadığını bunun yanında fasikölün uzunlamasına artış gösterdiğini bildirmektedir (Blazevich ve ark 2007, Franchi ve ark 2014). Çalışmamızda kas kalınlığı açısından anlamlı fark bulunamamıştır ancak bir takım hipertrofi fasiköl uzunluğunda da gerçekleşmiş olabilir.

5.SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada farklı kasılma türlerinin ve farklı egzersiz yüklerinin kasılmalara göre ayarlanarak eksantrik ve konsantrik kuvvete etkisi incelenmiştir. Kuvvetin yanı sıra kas hipertrofinin de egzersizlerden nasıl etkilendiği değerlendirilmiştir. İncelemeye göre, çalışmadaki modifiye edilen konsantrik ve eksantrik çalışma yöntemi katılımcıların kuvvet parametrelerini geliştirmedeki en etkili yöntem olarak görünmektedir. Ayrıca çalışma hedef kasılma türü hangisi ise egzersizlerde o kasılmanın çalışılmasının önemli olabileceğini göstermektedir. Araştırmanın sonucuna göre 8 haftalık kuvvet gelişiminin planlandığı antrenman programları için geleneksel olarak yapılan kombine KON-EKS egzersizlerden ziyade çalışmalarda Modifiye edilmiş KON-EKS çalışmalar önerilmektedir. Hipertrofi açısından gelişim için aynı şekilde modifiye edilmiş KON-EKS egzersizler önerilmektedir.

- Yapılan çalışmanın sonuçlarına göre kuvvet çıktıları açısından gruplar arası anlamlı fark bulunmasa da kuvvet artış oranları fark olabileceğini göstermektedir bu yüzden gelecekte yapılacak çalışmalarda daha yüksek katılımcı sayılarına ulaşılması gruplar arası farkları net olarak ortaya koyabileceği düşünülmektedir.

- Yapılan antrenmanlar kas gelişimi kuvvet çıktıları ve kas kalınlıkları değerlendirilerek açıklanmaktadır, benzer çalışmalarda lif tiplerinin incelenerek fizyolojik adaptasyonlar daha net açıklanabilir.

- Çalışmamızda eksantrik evrede verilen yük manuel olarak verilmiştir, bununla ilgili otomatik yük aparatları üretilebilir.

- Çalışmamızda katılımcıların antrenmanlarına müdahale edebilsek de sınırlılıklardan ötürü bireylerin diyetlerine müdahale edilmemiştir, benzer çalışmalarda diyetle müdahale edilebilir.

- Egzersizlerde tempo $60^{\circ} \text{ sn}^{-1}$ olarak belirlendi ancak kuvvet çıktıları farklı açılarda ölçüldüğünde veriler değişiklik gösterebilmiştir, yapılacak

benzer çalışmalarda birden fazla tempo kullanılarak kuvvet çıktılarının adaptasyonu daha net açıklanabilir.

- Çalışmamızda kuvvet çıktılarında anlamlı fark bulunurken kas hipertrofisinde anlamlı fark bulunmamıştır, bu yüzden katılımcıların sinirsel açıdan gelişimlerinin benzer çalışmalarda EMG ile takip edilmesi önerilmektedir.



6.KAYNAKLAR

- Aagaard P, Simonsen E, Andersen J, Magnusson S, Halkjaer-Kristensen J, Dyhre-Poulsen PJJAP, 2000. Neural inhibition during maximal eccentric and concentric quadriceps contraction: effects of resistance training. 89, 6, 2249-57.
- Aagaard P, Simonsen EB, Andersen JL, Magnusson SP, Halkjaer-Kristensen J, Dyhre-Poulsen P, 2000. Neural inhibition during maximal eccentric and concentric quadriceps contraction: effects of resistance training. J Appl Physiol (1985), 89, 6, 2249-57.
- Abernethy P, Wilson G, Logan P, (1995). Strength And Power Assessment-Issues Controversies And Challenges (Vol 19, Pg 401, 1995), Adis International Ltd 41 Centorian Dr, Private Bag 65901, Mairangi Bay **20**: 205-.
- Baechle TR, Earle RW, 2008. Essentials of strength training and conditioning, Human kinetics, p.
- Balshaw TG, Massey GJ, Maden-Wilkinson TM, Morales-Artacho AJ, McKeown A, Appleby CL, Folland JPJEjoap, 2017. Changes in agonist neural drive, hypertrophy and pre-training strength all contribute to the individual strength gains after resistance training. 117, 4, 631-40.
- Bamman MM, Shipp JR, Jiang J, Gower BA, Hunter GR, Goodman A, McLafferty CL, Jr., Urban RJ, 2001. Mechanical load increases muscle IGF-I and androgen receptor mRNA concentrations in humans. Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab., 280, 3, E383-90.
- Bär A, Pette DJFl, 1988. Three fast myosin heavy chains in adult rat skeletal muscle. 235, 1-2, 153-5.
- Barclay CJ, Woledge RC, Curtin NA, 2010. Inferring crossbridge properties from skeletal muscle energetics. Prog. Biophys. Mol. Biol., 102, 1, 53-71.
- Belli A, Kyrolainen H, Komi PV, 2002. Moment and power of lower limb joints in running. Int. J. Sports Med., 23, 2, 136-41.
- Beltman JG, Sargeant AJ, van Mechelen W, de Haan A, 2004. Voluntary activation level and muscle fiber recruitment of human quadriceps during lengthening contractions. J Appl Physiol (1985), 97, 2, 619-26.
- Ben-Sira D, Ayalon A, Tavi M, 1995. The effect of different types of strength training on concentric strength in women. The Journal of Strength & Conditioning Research, 9, 3, 143-8.
- Billeter R, Hoppeler HJS, sport pi, 2003. Muscular basis of strength. 50.
- Blazevich AJ, Cannavan D, Coleman DR, Horne S, 2007. Influence of concentric and eccentric resistance training on architectural adaptation in human quadriceps muscles. J Appl Physiol (1985), 103, 5, 1565-75.
- Blazevich AJ, Cannavan D, Coleman DR, Horne S, 2007. Influence of concentric and eccentric resistance training on architectural adaptation in human quadriceps muscles. J. Appl. Physiol.
- Bloemink MJ, Melkani GC, Bernstein SI, Geeves MA, 2016. The Relay/Converter Interface Influences Hydrolysis of ATP by Skeletal Muscle Myosin II. J. Biol. Chem., 291, 4, 1763-73.
- Bojsen-Møller J, Magnusson SP, Rasmussen LR, Kjaer M, Aagaard PJJAP, 2005. Muscle performance during maximal isometric and dynamic contractions is influenced by the stiffness of the tendinous structures. 99, 3, 986-94.
- Bompa TO, Buzzichelli C, 2018. Periodization-: theory and methodology of training, Human kinetics, p.
- Bottinelli R, Canepari M, Reggiani C, Stienen GJ, 1994. Myofibrillar ATPase activity during isometric contraction and isomyosin composition in rat single skinned muscle fibres. J. Physiol., 481 (Pt 3), 3, 663-75.

- Brandenburg JP, Docherty D, 2002. The effects of accentuated eccentric loading on strength, muscle hypertrophy, and neural adaptations in trained individuals. *J. Strength Cond. Res.*, 16, 1, 25-32.
- Buckner SL, Mouser JG, Jessee MB, Dankel SJ, Mattocks KT, Loenneke JPJM, nerve, 2017. What does individual strength say about resistance training status? , 55, 4, 455-7.
- Butler RJ, Crowell HP, 3rd, Davis IM, 2003. Lower extremity stiffness: implications for performance and injury. *Clin. Biomech. (Bristol, Avon)*, 18, 6, 511-7.
- Caiozzo V, Rourke BJAsaepneACoSM, 2012. The muscular system: structural and functional plasticity. 117-51.
- Calixto R, Verlengia R, Crisp A, Carvalho T, Crepaldi M, Pereira A, Yamada A, da Mota G, Lopes C, 2014. Acute effects of movement velocity on blood lactate and growth hormone responses after eccentric bench press exercise in resistance-trained men. *Biol. Sport*, 31, 4, 289-94.
- Campos GE, Luecke TJ, Wendeln HK, Toma K, Hagerman FC, Murray TF, Ragg KE, Ratamess NA, Kraemer WJ, Staron RS, 2002. Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimens: specificity of repetition maximum training zones. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 88, 1-2, 50-60.
- Canepari M, Pellegrino MA, D'Antona G, Bottinelli R, 2010. Single muscle fiber properties in aging and disuse. *Scand. J. Med. Sci. Sports*, 20, 1, 10-9.
- Cannon DT, Bimson WE, Hampson SA, Bowen TS, Murgatroyd SR, Marwood S, Kemp GJ, Rossiter HB, 2014. Skeletal muscle ATP turnover by ³¹P magnetic resonance spectroscopy during moderate and heavy bilateral knee extension. *J. Physiol.*, 592, 23, 5287-300.
- Coffey VG, Hawley JA, 2007. The molecular bases of training adaptation. *Sports Med.*, 37, 9, 737-63.
- Colliander EB, Tesch PA, 1990. Effects of eccentric and concentric muscle actions in resistance training. *Acta Physiol. Scand.*, 140, 1, 31-9.
- Conley KE, 1994. Cellular energetics during exercise. *Adv. Vet. Sci. Comp. Med.*, 38A, 1-39.
- Cook MD, Myers SD, Kelly JS, Willems ME, 2015. Acute postexercise effects of concentric and eccentric exercise on glucose tolerance. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.*, 25, 1, 14-9.
- Costill DL, Fink WJ, Pollock ML, 1976. Muscle fiber composition and enzyme activities of elite distance runners. *Med. Sci. Sports*, 8, 2, 96-100.
- Coyle EF, Sidossis LS, Horowitz JF, Beltz JDJM, sports si, exercise, 1992. Cycling efficiency is related to the percentage of type I muscle fibers. 24, 7, 782-8.
- Crenshaw AG, Karlsson S, Styf J, Backlund T, Friden J, 1995. Knee extension torque and intramuscular pressure of the vastus lateralis muscle during eccentric and concentric activities. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, 70, 1, 13-9.
- Croce R, Miller J, Chamberlin K, Filipovic D, Smith W, 2014. Wavelet analysis of quadriceps power spectra and amplitude under varying levels of contraction intensity and velocity. *Muscle Nerve*, 50, 5, 844-53.
- Curtin N, Davies RJJom, motility c, 1975. Very high tension with very little ATP breakdown by active skeletal muscle. 3, 2, 147-54.
- D'Antona G, Lanfranconi F, Pellegrino MA, Brocca L, Adami R, Rossi R, Moro G, Miotti D, Canepari M, Bottinelli R, 2006. Skeletal muscle hypertrophy and structure and function of skeletal muscle fibres in male body builders. *J. Physiol.*, 570, Pt 3, 611-27.
- Deschenes MR, Judelson DA, Kraemer WJ, Meskaitis VJ, Volek JS, Nindl BC, Harman FS, Deaver DR, 2000. Effects of resistance training on neuromuscular junction morphology. *Muscle Nerve*, 23, 10, 1576-81.
- Desmedt JE, Godaux E, 1977. Ballistic contractions in man: characteristic recruitment pattern of single motor units of the tibialis anterior muscle. *J. Physiol.*, 264, 3, 673-93.

- Douglas J, Pearson S, Ross A, McGuigan M, 2017. Chronic Adaptations to Eccentric Training: A Systematic Review. *Sports Med.*, 47, 5, 917-41.
- Douglas J, Pearson S, Ross A, McGuigan M, 2017. Eccentric exercise: physiological characteristics and acute responses. *Sports Med.*, 47, 4, 663-75.
- Drury DG, Stuempfle KJ, Mason CW, Girman JC, 2006. The effects of isokinetic contraction velocity on concentric and eccentric strength of the biceps brachii. *J. Strength Cond. Res.*, 20, 2, 390-5.
- Duchateau J, Enoka RM, 2016. Neural control of lengthening contractions. *J. Exp. Biol.*, 219, Pt 2, 197-204.
- Duchateau J, Hainaut KJS, sport pi, 2003. Mechanisms of muscle and motor unit adaptation to explosive power training. 315.
- Duchateau J, Semmler JG, Enoka RM, 2006. Training adaptations in the behavior of human motor units. *J Appl Physiol* (1985), 101, 6, 1766-75.
- Duncan PW, Chandler JM, Cavanaugh DK, Johnson KR, Buehler AG, 1989. Mode and speed specificity of eccentric and concentric exercise training. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.*, 11, 2, 70-5.
- Duncan PW, Chandler JM, Cavanaugh DK, Johnson KR, Buehler AG, 1989. Mode and speed specificity of eccentric and concentric exercise training. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.*, 11, 2, 70-5.
- Durand RJ, Castracane VD, Hollander DB, Tryniecki JL, Bamman MM, O'Neal S, Hebert EP, Kraemer RR, 2003. Hormonal responses from concentric and eccentric muscle contractions. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 35, 6, 937-43.
- DuVall MM, Gifford JL, Amrein M, Herzog W, 2013. Altered mechanical properties of titin immunoglobulin domain 27 in the presence of calcium. *Eur. Biophys. J.*, 42, 4, 301-7.
- Ebashi S, 1991. Excitation-contraction coupling and the mechanism of muscle contraction. *Annu. Rev. Physiol.*, 53, 1, 1-16.
- Edgerton VJHmp, 1986. Morphological basis of skeletal muscle power output. 43-64.
- Edman KA, Elzinga G, Noble MI, 1982. Residual force enhancement after stretch of contracting frog single muscle fibers. *J. Gen. Physiol.*, 80, 5, 769-84.
- Eliasson J, Elfegoun T, Nilsson J, Kohnke R, Ekblom B, Blomstrand E, 2006. Maximal lengthening contractions increase p70 S6 kinase phosphorylation in human skeletal muscle in the absence of nutritional supply. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.*, 291, 6, E1197-205.
- Enoka RM, 1995. Morphological features and activation patterns of motor units. *J. Clin. Neurophysiol.*, 12, 6, 538-59.
- Fang Y, Siemionow V, Sahgal V, Xiong F, Yue GH, 2004. Distinct brain activation patterns for human maximal voluntary eccentric and concentric muscle actions. *Brain Res.*, 1023, 2, 200-12.
- Farthing JP, Chilibeck PD, 2003. The effects of eccentric and concentric training at different velocities on muscle hypertrophy. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 89, 6, 578-86.
- Farup J, Rahbek SK, Riis S, Vendelbo MH, Paoli F, Vissing K, 2014. Influence of exercise contraction mode and protein supplementation on human skeletal muscle satellite cell content and muscle fiber growth. *J Appl Physiol* (1985), 117, 8, 898-909.
- Flitney F, Hirst DJTJoP, 1978. Cross-bridge detachment and sarcomere'give'during stretch of active frog's muscle. 276, 1, 449-65.
- Franchi MV, Atherton PJ, Reeves ND, Fluck M, Williams J, Mitchell WK, Selby A, Beltran Valls RM, Narici MV, 2014. Architectural, functional and molecular responses to concentric and eccentric loading in human skeletal muscle. *Acta Physiol. (Oxf.)*, 210, 3, 642-54.

- Franchi MV, Atherton PJ, Reeves ND, Flück M, Williams J, Mitchell WK, Selby A, Beltran Valls R, Narici MV, 2014. Architectural, functional and molecular responses to concentric and eccentric loading in human skeletal muscle. *Acta Physiologica*, 210, 3, 642-54.
- Franchi MV, Reeves ND, Narici MV, 2017. Skeletal Muscle Remodeling in Response to Eccentric vs. Concentric Loading: Morphological, Molecular, and Metabolic Adaptations. *Front. Physiol.*, 8, 447.
- Friden J, Lieber RL, 2001. Eccentric exercise-induced injuries to contractile and cytoskeletal muscle fibre components. *Acta Physiol. Scand.*, 171, 3, 321-6.
- Friedmann-Bette B, Bauer T, Kinscherf R, Vorwald S, Klute K, Bischoff D, Muller H, Weber MA, Metz J, Kauczor HU, Bartsch P, Billeter R, 2010. Effects of strength training with eccentric overload on muscle adaptation in male athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 108, 4, 821-36.
- Friedmann-Bette B, Bauer T, Kinscherf R, Vorwald S, Klute K, Bischoff D, Müller H, Weber M-A, Metz J, Kauczor H-U, 2010. Effects of strength training with eccentric overload on muscle adaptation in male athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 108, 4, 821-36.
- Gabriel DA, Kamen G, Frost G, 2006. Neural adaptations to resistive exercise: mechanisms and recommendations for training practices. *Sports Med.*, 36, 2, 133-49.
- Garber CE, Blissmer B, Deschenes MR, Franklin BA, Lamonte MJ, Lee IM, Nieman DC, Swain DP, American College of Sports M, 2011. American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 43, 7, 1334-59.
- García-López D, De Paz JA, Moneo E, Jiménez-Jiménez R, Bresciani G, Izquierdo MJTJoS, Research C, 2007. Effects of short vs. long rest period between sets on elbow-flexor muscular endurance during resistance training to failure. 21, 4, 1320-4.
- Gastin PB, 2001. Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. *Sports Med.*, 31, 10, 725-41.
- Gillies EM, Putman CT, Bell GJ, 2006. The effect of varying the time of concentric and eccentric muscle actions during resistance training on skeletal muscle adaptations in women. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 97, 4, 443-53.
- Gleeson NP, Mercer TH, 1996. The utility of isokinetic dynamometry in the assessment of human muscle function. *Sports Med.*, 21, 1, 18-34.
- Godard MP, Wygand JW, Carpinelli RN, Catalano S, Otto RM, 1998. Effects of accentuated eccentric resistance training on concentric knee extensor strength. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 12, 1, 26-9.
- Goldberg A, Pette D, 1980. Plasticity of Muscle.
- Gordon AM, Huxley AF, Julian FJ, 1966. The variation in isometric tension with sarcomere length in vertebrate muscle fibres. *J. Physiol.*, 184, 1, 170-92.
- Goto K, Ishii N, Kizuka T, Kraemer RR, Honda Y, Takamatsu K, 2009. Hormonal and metabolic responses to slow movement resistance exercise with different durations of concentric and eccentric actions. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 106, 5, 731-9.
- Gotshalk LA, Loebel CC, Nindl BC, Putukian M, Sebastianelli WJ, Newton RU, Hakkinen K, Kraemer WJ, 1997. Hormonal responses of multiset versus single-set heavy-resistance exercise protocols. *Can. J. Appl. Physiol.*, 22, 3, 244-55.
- Granzier H, Kellermayer M, Helmes M, Trombitas K, 1997. Titin elasticity and mechanism of passive force development in rat cardiac myocytes probed by thin-filament extraction. *Biophys. J.*, 73, 4, 2043-53.
- Green HJHmp, 1986. Muscle power: fibre type recruitment, metabolism and fatigue. 65-79.
- Gross M, Luthy F, Kroell J, Muller E, Hoppeler H, Vogt M, 2010. Effects of eccentric cycle ergometry in alpine skiers. *Int. J. Sports Med.*, 31, 8, 572-6.

- Häkkinen K, Keskinen KJEjoap, physiology o, 1989. Muscle cross-sectional area and voluntary force production characteristics in elite strength-and endurance-trained athletes and sprinters. 59, 3, 215-20.
- Hakkinen K, Pakarinen A, 1993. Acute hormonal responses to two different fatiguing heavy-resistance protocols in male athletes. *J Appl Physiol* (1985), 74, 2, 882-7.
- Harris GR, STONE MH, O'BRYANT HS, PROULX CM, JOHNSON RLJTJoS, Research C, 2000. Short-term performance effects of high power, high force, or combined weight-training methods. 14, 1, 14-20.
- Hawkins SA, Schroeder ET, Wiswell RA, Jaque SV, Marcell TJ, Costa K, 1999. Eccentric muscle action increases site-specific osteogenic response. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 31, 9, 1287-92.
- Hawkins SA, Schroeder ET, Wiswell RA, Jaque SV, Marcell TJ, Costa K, 1999. Eccentric muscle action increases site-specific osteogenic response. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 31, 9, 1287-92.
- Hawley JA, Leckey JJ, 2015. Carbohydrate Dependence During Prolonged, Intense Endurance Exercise. *Sports Med.*, 45 Suppl 1, 1, S5-12.
- Henneman E, Somjen G, Carpenter DOJJon, 1965. Excitability and inhibibility of motoneurons of different sizes. 28, 3, 599-620.
- Herzog W, Powers K, Johnston K, Duvall M, 2015. A new paradigm for muscle contraction. *Front. Physiol.*, 6, 174.
- Higbie EJ, Cureton KJ, Warren GL, 3rd, Prior BM, 1996. Effects of concentric and eccentric training on muscle strength, cross-sectional area, and neural activation. *J Appl Physiol* (1985), 81, 5, 2173-81.
- Higuchi H, Yoshioka T, Maruyama K, 1988. Positioning of actin filaments and tension generation in skinned muscle fibres released after stretch beyond overlap of the actin and myosin filaments. *J. Muscle Res. Cell Motil.*, 9, 6, 491-8.
- Hollander DB, Durand RJ, Trynicki JL, Larock D, Castracane VD, Hebert EP, Kraemer RR, 2003. RPE, pain, and physiological adjustment to concentric and eccentric contractions. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 35, 6, 1017-25.
- Hollander DB, Kilpatrick MW, Ramadan ZG, Reeves GV, Francois M, Blakeney A, Castracane VD, Kraemer RRJTJoS, Research C, 2008. Load rather than contraction type influences rate of perceived exertion and pain. 22, 4, 1184-93.
- Hollander DB, Kraemer RR, Kilpatrick MW, Ramadan ZG, Reeves GV, Francois M, Hebert EP, Tryniecki JLJTJoS, Research C, 2007. Maximal eccentric and concentric strength discrepancies between young men and women for dynamic resistance exercise. 21, 1, 37-40.
- Holmes KC, 1997. The swinging lever-arm hypothesis of muscle contraction. *Curr. Biol.*, 7, 2, R112-8.
- Hortobágyi T, Dempsey L, Fraser D, Zheng D, Hamilton G, Lambert J, Dohm L, 2000. Changes in muscle strength, muscle fibre size and myofibrillar gene expression after immobilization and retraining in humans. *The Journal of physiology*, 524, 1, 293-304.
- Hortobagyi T, Hill JP, Houmard JA, Fraser DD, Lambert NJ, Israel RG, 1996. Adaptive responses to muscle lengthening and shortening in humans. *J. Appl. Physiol.*, 80, 3, 765-72.
- Hortobagyi T, Hill JP, Houmard JA, Fraser DD, Lambert NJ, Israel RG, 1996. Adaptive responses to muscle lengthening and shortening in humans. *J Appl Physiol* (1985), 80, 3, 765-72.
- Hudelmaier M, Wirth W, Himmer M, Ring-Dimitriou S, Sängner A, Eckstein FJMrim, 2010. Effect of exercise intervention on thigh muscle volume and anatomical cross-sectional areas—Quantitative assessment using MRI. 64, 6, 1713-20.

- Hunter GJEost, conditioning, 2000. Muscle physiology. 8-12.
- Hunter SK, Thompson MW, Ruell PA, Harmer AR, Thom JM, Gwinn TH, Adams RD, 1999. Human skeletal sarcoplasmic reticulum Ca^{2+} uptake and muscle function with aging and strength training. *J Appl Physiol* (1985), 86, 6, 1858-65.
- Huxley AF, 1998. Biological motors: energy storage in myosin molecules. *Curr. Biol.*, 8, 14, R485-8.
- Huxley AF, Niedergerke R, 1954. Structural changes in muscle during contraction; interference microscopy of living muscle fibres. *Nature*, 173, 4412, 971-3.
- Huxley AF, Simmons RM, 1971. Proposed mechanism of force generation in striated muscle. *Nature*, 233, 5321, 533-8.
- Isner-Horobeti ME, Dufour SP, Vautravers P, Geny B, Coudeyre E, Richard R, 2013. Eccentric exercise training: modalities, applications and perspectives. *Sports Med.*, 43, 6, 483-512.
- Issurin VB, 2009. Generalized training effects induced by athletic preparation. A review. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, 49, 4, 333-45.
- Kaminski TW, Wabbersen CV, Murphy RM, 1998. Concentric versus enhanced eccentric hamstring strength training: clinical implications. *J Athl Train*, 33, 3, 216-21.
- Kawakami Y, Abe T, Fukunaga TJJoAP, 1993. Muscle-fiber pennation angles are greater in hypertrophied than in normal muscles. 74, 6, 2740-4.
- Kelly Jr SB, 2013. Comparison of Concentric and Eccentric Bench Press, Arizona State University, p.
- Kelly SB, Brown LE, Hooker SP, Swan PD, Buman MP, Alvar BA, Black LE, 2015. Comparison of concentric and eccentric bench press repetitions to failure. *J. Strength Cond. Res.*, 29, 4, 1027-32.
- Kenney WL, Wilmore JH, Costill DL, 2015. Physiology of sport and exercise, Human kinetics, p.
- Kodama T, 1985. Thermodynamic analysis of muscle ATPase mechanisms. *Physiol. Rev.*, 65, 2, 467-551.
- Komi PV, 1992. Strength and power in sport, Blackwell scientific publications Oxford, p.
- Komi PV, Buskirk ER, 1972. Effect of eccentric and concentric muscle conditioning on tension and electrical activity of human muscle. *Ergonomics*, 15, 4, 417-34.
- Kraemer RR, Castracane VD, 2015. Endocrine alterations from concentric vs. eccentric muscle actions: a brief review. *Metabolism*, 64, 2, 190-201.
- Kraemer RR, Hollander DB, Reeves GV, Francois M, Ramadan ZG, Meeker B, Tryniecki JL, Hebert E, Castracane VD, 2006. Similar hormonal responses to concentric and eccentric muscle actions using relative loading. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 96, 5, 551-7.
- Kraemer RR, Hollander DB, Reeves GV, Francois M, Ramadan ZG, Meeker B, Tryniecki JL, Hebert E, Castracane VDJEjoap, 2006. Similar hormonal responses to concentric and eccentric muscle actions using relative loading. 96, 5, 551-7.
- Kraemer RR, Kilgore JL, Kraemer GR, Castracane VD, 1992. Growth hormone, IGF-I, and testosterone responses to resistive exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 24, 12, 1346-52.
- Kraemer WJ, Dudley GA, Tesch PA, Gordon SE, Hather BM, Volek JS, Ratamess NA, 2001. The influence of muscle action on the acute growth hormone response to resistance exercise and short-term detraining. *Growth Horm. IGF Res.*, 11, 2, 75-83.
- Kraemer WJ, Hakkinen K, Newton RU, McCormick M, Nindl BC, Volek JS, Gotshalk LA, Fleck SJ, Campbell WW, Gordon SE, Farrell PA, Evans WJ, 1998. Acute hormonal responses to heavy resistance exercise in younger and older men. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, 77, 3, 206-11.

- Kraemer WJ, Marchitelli L, Gordon SE, Harman E, Dziados JE, Mello R, Frykman P, McCurry D, Fleck SJ, 1990. Hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise protocols. *J Appl Physiol* (1985), 69, 4, 1442-50.
- Kubo K, Yata H, Kanehisa H, Fukunaga T, 2006. Effects of isometric squat training on the tendon stiffness and jump performance. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 96, 3, 305-14.
- Kumar A, Chaudhry I, Reid MB, Boriek AM, 2002. Distinct signaling pathways are activated in response to mechanical stress applied axially and transversely to skeletal muscle fibers. *J. Biol. Chem.*, 277, 48, 46493-503.
- Labeit D, Watanabe K, Witt C, Fujita H, Wu Y, Lahmers S, Funck T, Labeit S, Granzier H, 2003. Calcium-dependent molecular spring elements in the giant protein titin. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, 100, 23, 13716-21.
- Labeit S, Kolmerer B, 1995. Titins: giant proteins in charge of muscle ultrastructure and elasticity. *Science*, 270, 5234, 293-6.
- Leong B, Kamen G, Patten C, Burke JR, 1999. Maximal motor unit discharge rates in the quadriceps muscles of older weight lifters. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 31, 11, 1638-44.
- Lieber RL, 2002. Skeletal muscle structure, function, and plasticity, Lippincott Williams & Wilkins, p.
- Linari M, Bottinelli R, Pellegrino MA, Reconditi M, Reggiani C, Lombardi V, 2004. The mechanism of the force response to stretch in human skinned muscle fibres with different myosin isoforms. *J. Physiol.*, 554, Pt 2, 335-52.
- Linari M, Lucii L, Reconditi M, Casoni MV, Amenitsch H, Bernstorff S, Piazzesi G, Lombardi V, 2000. A combined mechanical and X-ray diffraction study of stretch potentiation in single frog muscle fibres. *J. Physiol.*, 526, 3, 589-96.
- Liu C, Chen CS, Ho WH, Fule RJ, Chung PH, Shiang TY, 2013. The effects of passive leg press training on jumping performance, speed, and muscle power. *J. Strength Cond. Res.*, 27, 6, 1479-86.
- Lombardi V, Piazzesi G, 1990. The contractile response during steady lengthening of stimulated frog muscle fibres. *J. Physiol.*, 431, 1, 141-71.
- Maffiuletti NA, Aagaard P, Blazevich AJ, Folland J, Tillin N, Duchateau J, 2016. Rate of force development: physiological and methodological considerations. *J. Appl. Physiol.*, 116, 6, 1091-116.
- Månsson A, Rassier D, Tsiavalariis GJBRI, 2015. Poorly understood aspects of striated muscle contraction. 2015, 1-28.
- Marieb EN, Hoehn KJHA, Physiology. 8th ed. San Francisco CBC, 2010. The integumentary system. 155.
- McArdle WD, Katch FI, Katch VL, 2010. Exercise physiology: nutrition, energy, and human performance, Lippincott Williams & Wilkins, p.
- McBride JM, Triplett-McBride T, Davie AJ, Abernethy PJ, Newton RU, 2003. Characteristics of titin in strength and power athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 88, 6, 553-7.
- McGuigan M, 2017. Developing power, Human Kinetics, p.
- Miller LE, Pierson LM, Nickols-Richardson SM, Wootten DF, Selmon SE, Ramp WK, Herbert WG, 2006. Knee extensor and flexor torque development with concentric and eccentric isokinetic training. *Res. Q. Exerc. Sport*, 77, 1, 58-63.
- Miller MS, Bedrin NG, Ades PA, Palmer BM, Toth MJ, 2015. Molecular determinants of force production in human skeletal muscle fibers: effects of myosin isoform expression and cross-sectional area. *Am. J. Physiol. Cell Physiol.*, 308, 6, C473-84.
- Milner-Brown HS, Stein RB, Lee RG, 1975. Synchronization of human motor units: possible roles of exercise and supraspinal reflexes. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.*, 38, 3, 245-54.

- Minetti AEJEJoap, 2002. On the mechanical power of joint extensions as affected by the change in muscle force (or cross-sectional area), *ceteris paribus*. 86, 4, 363-9.
- Monroy JA, Powers KL, Gilmore LA, Uyeno TA, Lindstedt SL, Nishikawa KCJE, reviews ss, 2012. What is the role of titin in active muscle? , 40, 2, 73-8.
- Moore DR, Young M, Phillips SM, 2012. Similar increases in muscle size and strength in young men after training with maximal shortening or lengthening contractions when matched for total work. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 112, 4, 1587-92.
- Morel B, Rouffet DM, Saboul D, Rota S, Clemencon M, Hautier CA, 2015. Peak torque and rate of torque development influence on repeated maximal exercise performance: contractile and neural contributions. *PLoS One*, 10, 4, e0119719.
- Morgan RS, RS M, 1977. Actin rotates as myosin translates.
- Morrissey MC, Harman EA, Johnson MJ, 1995. Resistance training modes: specificity and effectiveness. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 27, 5, 648-60.
- Moss R, Diffie G, Greaser M, 1995. Contractile properties of skeletal muscle fibers in relation to myofibrillar protein isoforms. In: *Reviews of Physiology, Biochemistry and Pharmacology*, Volume 126. Eds: Springer, p. 1-63.
- Narici MV, Roi GS, Landoni L, Minetti AE, Cerretelli P, 1989. Changes in force, cross-sectional area and neural activation during strength training and detraining of the human quadriceps. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, 59, 4, 310-9.
- Nishikawa KC, Monroy JA, Uyeno TE, Yeo SH, Pai DK, Lindstedt SLJPotrsBBs, 2012. Is titin a 'winding filament'? A new twist on muscle contraction. 279, 1730, 981-90.
- Ojasto T, Hakkinen K, 2009. Effects of different accentuated eccentric loads on acute neuromuscular, growth hormone, and blood lactate responses during a hypertrophic protocol. *J. Strength Cond. Res.*, 23, 3, 946-53.
- Pensini M, Martin A, Maffiuletti NA, 2002. Central versus peripheral adaptations following eccentric resistance training. *Int. J. Sports Med.*, 23, 8, 567-74.
- Phillips SM, 2009. Physiologic and molecular bases of muscle hypertrophy and atrophy: impact of resistance exercise on human skeletal muscle (protein and exercise dose effects). *Appl. Physiol. Nutr. Metab.*, 34, 3, 403-10.
- Plowman SA, Smith DL, 2013. *Exercise physiology for health fitness and performance*, Lippincott Williams & Wilkins, p.
- Porcari J, Bryant C, Comana F, 2015. *Exercise physiology*, FA Davis, p.
- Powers SK, Howley ET, Cotter J, De Jonge XJ, Leicht A, Mündel T, Pumpa K, Rattray B, 2014. *Exercise Physiology: Australia/New Zealand*, McGraw-Hill Education, p.
- Proske U, Morgan DL, 2001. Muscle damage from eccentric exercise: mechanism, mechanical signs, adaptation and clinical applications. *J. Physiol.*, 537, Pt 2, 333-45.
- Rayment I, Holden HM, Whittaker M, Yohn CB, Lorenz M, Holmes KC, Milligan RA, 1993. Structure of the actin-myosin complex and its implications for muscle contraction. *Science*, 261, 5117, 58-65.
- Roberts TJ, 2016. Contribution of elastic tissues to the mechanics and energetics of muscle function during movement. *J. Exp. Biol.*, 219, Pt 2, 266-75.
- Roig M, O'Brien K, Kirk G, Murray R, McKinnon P, Shadgan B, Reid WD, 2009. The effects of eccentric versus concentric resistance training on muscle strength and mass in healthy adults: a systematic review with meta-analysis. *Br. J. Sports Med.*, 43, 8, 556-68.
- Saladin KJUMBC, Male SDA, Varied FBR, 2014. *Anatomy & physiology: the unity of form and function* (7th Edn) New York.
- Sant'Ana Pereira JJM, Nerve, 1996. The Predominant Fast MyHCs in Human Skeletal Muscles Correspond to the Rat IIA and IIX Not the IIB. 19, 4, S45.

- Saplingskas JS, Chobotas MA, Yashchaninas, II, 1980. The time of completed motor acts and impulse activity of single motor units according to the training level and sport specialization of tested persons. *Electromyogr. Clin. Neurophysiol.*, 20, 6, 529-39.
- Sasaki K, Neptune RR, Kautz SAJJoEB, 2009. The relationships between muscle, external, internal and joint mechanical work during normal walking. 212, 5, 738-44.
- Schiaffino S, Gorza L, Sartore S, Saggin L, Ausoni S, Vianello M, Gundersen K, Lomo T, 1989. Three myosin heavy chain isoforms in type 2 skeletal muscle fibres. *J. Muscle Res. Cell Motil.*, 10, 3, 197-205.
- Schiaffino S, Reggiani C, 2011. Fiber types in mammalian skeletal muscles. *Physiol. Rev.*, 91, 4, 1447-531.
- Schoenfeld BJ, 2010. The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24, 10, 2857-72.
- Schwab R, Johnson GO, Housh TJ, Kinder JE, Weir JP, 1993. Acute effects of different intensities of weight lifting on serum testosterone. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 25, 12, 1381-5.
- Seger JY, Arvidsson B, Thorstensson A, 1998. Specific effects of eccentric and concentric training on muscle strength and morphology in humans. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, 79, 1, 49-57.
- Semmler J, Nordstrom MJEBr, 1998. Motor unit discharge and force tremor in skill-and strength-trained individuals. 119, 1, 27-38.
- Semmler JG, Kutscher DV, Zhou S, Enoka RM, 2000. Motor unit synchronization is enhanced during slow shortening and lengthening contractions of the first dorsal interosseus muscle. 463.
- Siff M, (2000). *Biomechanical foundations of strength and power training*, Wiley Online Library: 103-39.
- Sjöström M, Kidman S, Larsen KH, Angquist KJJoH, *Cytochemistry*, 1982. Z-and M-band appearance in different histochemically defined types of human skeletal muscle fibers. 30, 1, 1-11.
- Smith DA, 2018. *The Sliding-Filament Theory of Muscle Contraction*, Springer, p.
- Søgaard K, Gandevia SC, Todd G, Petersen NT, Taylor JLJTJop, 2006. The effect of sustained low-intensity contractions on supraspinal fatigue in human elbow flexor muscles. 573, 2, 511-23.
- Stone MH, Cormie P, Lamont H, Stone MJS, performance cfs, 2016. 11 Developing strength and power. 230.
- Stone MH, Moir G, Glaister M, Sanders R, 2002. How much strength is necessary? *Phys. Ther. Sport*, 3, 2, 88-96.
- Stone MH, O'Bryant H, Garhammer J, 1981. A hypothetical model for strength training. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, 21, 4, 342-51.
- Stone MH, Sands WA, Stone MEJS, *Journal C*, 2006. Weightlifting: program design. 28, 2, 10.
- Stone WJ, Coulter SP, 1994. Strength/endurance effects from three resistance training protocols with women. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 8, 4, 231-4.
- Suchomel TJ, Nimphius S, Bellon CR, Stone MH, 2018. The Importance of Muscular Strength: Training Considerations. *Sports Med.*, 48, 4, 765-85.
- Suchomel TJ, Nimphius S, Stone MH, 2016. The Importance of Muscular Strength in Athletic Performance. *Sports Med.*, 46, 10, 1419-49.
- Suzuki M, Fujita H, Ishiwata S, 2005. A new muscle contractile system composed of a thick filament lattice and a single actin filament. *Biophys. J.*, 89, 1, 321-8.

- Tate CA, Hyek MF, Taffet GE, 1991. The role of calcium in the energetics of contracting skeletal muscle. *Sports Med.*, 12, 3, 208-17.
- Tatlıcı A, 2017. Elit boksörlerde akut besinsel nitrat takviyesinin anaerobik güç üzerine etkisi, Selçuk Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü.
- Toigo M, Boutellier U, 2006. New fundamental resistance exercise determinants of molecular and cellular muscle adaptations. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 97, 6, 643-63.
- Tomberlin JP, Basford JR, Schwen EE, Orte PA, Scott SC, Laughman RK, Ilstrup DM, 1991. Comparative study of isokinetic eccentric and concentric quadriceps training. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.*, 14, 1, 31-6.
- Tskhovrebova L, Trinick J, Sleep JA, Simmons RM, 1997. Elasticity and unfolding of single molecules of the giant muscle protein titin. *Nature*, 387, 6630, 308-12.
- Ünlü G, Çevikol C, Melekoglu T, 2020. Comparison of the Effects of Eccentric, Concentric, and Eccentric-Concentric Isotonic Resistance Training at Two Velocities on Strength and Muscle Hypertrophy. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 34, 2, 337-44.
- Vale RD, 1994. Getting a grip on myosin. *Cell*, 78, 5, 733-7.
- Van Cutsem M, Duchateau J, Hainaut K, 1998. Changes in single motor unit behaviour contribute to the increase in contraction speed after dynamic training in humans. *J. Physiol.*, 513 (Pt 1), 1, 295-305.
- Vikne H, Refsnes PE, Ekmark M, Medbo JJ, Gundersen V, Gundersen K, 2006. Muscular performance after concentric and eccentric exercise in trained men. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 38, 10, 1770-81.
- Vogt M, Hoppeler HH, 2014. Eccentric exercise: mechanisms and effects when used as training regime or training adjunct. *J. Appl. Physiol.*
- Wang K, McCarter R, Wright J, Beverly J, Ramirez-Mitchell R, 1991. Regulation of skeletal muscle stiffness and elasticity by titin isoforms: a test of the segmental extension model of resting tension. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, 88, 16, 7101-5.
- Westing S, Seger J, 1989. Eccentric and concentric torque-velocity characteristics, torque output comparisons, and gravity effect torque corrections for the quadriceps and hamstring muscles in females. *Int. J. Sports Med.*, 10, 03, 175-80.
- Westing SH, Seger JY, Karlson E, Ekblom B, 1988. Eccentric and concentric torque-velocity characteristics of the quadriceps femoris in man. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, 58, 1-2, 100-4.
- Williams PE, Goldspink G, 1971. Longitudinal growth of striated muscle fibres. *J. Cell Sci.*, 9, 3, 751-67.
- Willis WT, Jackman MR, Messer JJ, Kuzmiak-Glancy S, Glancy B, 2016. A Simple Hydraulic Analog Model of Oxidative Phosphorylation. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 48, 6, 990-1000.
- Witte H, Recknagel S, Rao J, Wüthrich M, Lesch CJCTO, 1997. Is elastic energy storage of quantitative relevance for the functional morphology of the human locomotor apparatus? , 158, 2, 106-11.
- Yang N, MacArthur DG, Gulbin JP, Hahn AG, Beggs AH, Easteal S, North KJTAJoHG, 2003. ACTN3 genotype is associated with human elite athletic performance. 73, 3, 627-31.
- Yarrow JF, Borsa PA, Borst SE, Sitren HS, Stevens BR, White LJ, 2008. Early-phase neuroendocrine responses and strength adaptations following eccentric-enhanced resistance training. *J. Strength Cond. Res.*, 22, 4, 1205-14.
- Zamparo P, Minetti A, Di Prampero PJEjoap, 2002. Interplay among the changes of muscle strength, cross-sectional area and maximal explosive power: theory and facts. 88, 3, 193-202.
- Zoladz JA, 2018. *Muscle and Exercise Physiology*, Academic Press, p.