

HAREKET VE ANTRENMAN BİLİMLERİ KONULARI

Editör: Doç.Dr. Erdil DURUKAN

yaz
yayınları

Hareket ve Antrenman Bilimleri Konuları

Editör

Doç.Dr. Erdil DURUKAN

yaz
yayınları

2025

Hareket ve Antrenman Bilimleri Konuları

Editör: Doç.Dr. Erdil DURUKAN

© YAZ Yayınları

Bu kitabın her türlü yayın hakkı Yaz Yayınları'na aittir, tüm hakları saklıdır. Kitabın tamamı ya da bir kısmı 5846 sayılı Kanun'un hükümlerine göre, kitabı yayınlayan firmanın önceden izni alınmaksızın elektronik, mekanik, fotokopi ya da herhangi bir kayıt sistemiyle çoğaltılamaz, yayınlanamaz, depolanamaz.

E_ISBN 978-625-5596-21-5

Mart 2025 – Afyonkarahisar

Dizgi/Mizanpaj: YAZ Yayınları

Kapak Tasarım: YAZ Yayınları

YAZ Yayınları. Yayıncı Sertifika No: 73086

M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar/AFYONKARAHİSAR

www.yazyayinlari.com

yazyayinlari@gmail.com

info@yazyayinlari.com

İÇİNDEKİLER

Kadın ve Spor	1
<i>Zeynep ŞİMŞEK, İrfan MARANGOZ</i>	
Troponin ve Egzersiz	32
<i>Sercan ÖNCEN</i>	

"Bu kitapta yer alan bölümlerde kullanılan kaynakların, görüşlerin, bulguların, sonuçların, tablo, şekil, resim ve her türlü içeriğin sorumluluğu yazar veya yazarlarına ait olup ulusal ve uluslararası telif haklarına konu olabilecek mali ve hukuki sorumluluk da yazarlara aittir."

KADIN VE SPOR

Zeynep ŞİMŞEK¹

İrfan MARANGOZ²

1. GİRİŞ

Kadınların sporla olan ilişkisi çeşitli faktörlerden etkilenir (1). Bunlar arasında spor deneyimleri, sağlık ve performansları, yer almaktadır. Kadınların antrenmanlara katılımı ve bu süreçte karşılaştıkları farklılıklar, son yıllarda spor bilimi literatüründe önemli bir araştırma alanı olmuştur (2). Kadın fizyolojisinin erkeklerden farklı olması, hormonal dalgalanmalar ve toplumsal algılar gibi faktörler, kadınların antrenman planlamasında özel bir yaklaşım gerektirir (3, 4). Bu çalışmanın temel amacı, kadınların spor alanındaki fiziksel özelliklerini ve fizyolojik özelliklerini analiz etmektir. Bu bağlamda, kadınların spora katılımını etkileyen faktörler, spor yapma deneyimleri, sağlık ve performansları, gibi konuları ele alarak kadınların spor yapma motivasyonunu artırmak amacıyla kadınlar ve spor ilişkisini geniş bir perspektiften incelemek, alanda eksik kalan konulara ışık tutmayı amaçlamaktadır. Tüm bu amaçlar doğrultusunda, bu araştırma kapsamlı bir şekilde planlanmış ve yürütülmüştür. Bu çalışma hem akademik hem de pratik anlamda kullanılabilecek önemli bilgiler sunmaktadır. Böylece, sporun kadınlar için daha kapsayıcı hale getirilmesine yönelik politika ve stratejilerin oluşturulması için temel bir kaynak teşkil edecektir (5). Sonuç olarak, bu çalışma kadınların sporla olan ilişkisini derinlemesine

¹ Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Kırşehir/ Türkiye, zeynep40simsek@gmail.com ORCID: 0000-8036-5568.

² Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, Kırşehir/ Türkiye, imarangoz@ahievran.edu.tr ORCID: 0000-0002-7090-529X.

anlamak ve kadınların spor yapmaya yönelik teşviklerini artırmak için önemli bir kaynak olacaktır.

2. KADINLARDA FİZİKSEL ÖZELLİKLER

Kadınların fiziksel özellikleri, genetik, yaş, yaşam tarzı ve çevresel faktörlere bağlı olarak çeşitlilik gösterir (6). Bu özellikler, toplumlar ve bireyler arasında değişiklik gösterebilir. Kadınlar, erkeklere kıyasla yapısal olarak daha küçük ve vücut ağırlığı açısından daha hafiftir (7). Vücut şekilleri genelde daha yuvarlak hatlarla karakterizedir, bu da yağ dağılımının daha fazla olduğu bölgelerden (örneğin kalça ve uyluk) kaynaklanır (8). Östrojen hormonu, bu dağılımın düzenlenmesinde önemli bir rol oynar. Buna bağlı olarak yerçekimi merkezleri daha aşağıda bulunur ve özellikle iskelet sisteminde önemli farklılıklar ortaya çıkar (9). Ergenlik dönemine kadar boy, vücut ağırlığı ve güç, cinsiyet fark etmeksizin paralel bir şekilde gelişir (10). Ancak kadınların fiziksel özellikleri, hormon seviyelerindeki değişimlerden etkilenir (11). Örneğin, adet döngüsü, hamilelik, menopoz gibi süreçler fiziksel görünümü etkileyebilir (12). Kızlarda ergenlik daha erken başlar ve özellikle fiziksel gelişim daha hızlı seyreder (13). Kızlar erkeklere göre yaklaşık olarak 2 yıl daha erken olgunlaşır. Bu nedenle kız çocuğu sportif açıdan daha verimli hale gelir (14, 15). Hormonal değişiklikler göz önünde bulundurulduğunda ergenlikten sonra kadınlar genellikle daha kısa kalır. Araştırmalar, kadın sporcuların erkek sporculara göre 5-10 cm daha kısa olduğunu göstermektedir. Vücut ağırlığı üzerine yapılan çalışmalar, kadınların ortalama olarak 10-15 kg daha hafif olduğunu ortaya koymuştur (16-18).

Kemikleşme miktarını etkileyen en önemli faktör; beslenme, sağlık ve hormonal düzendir (19, 20). Ergenlik döneminde kemik gelişimi açısından değerlendirildiğinde östrojen hormonların uzun kemiklerdeki gelişimi

hızlandırmasından dolayı kızlar erkeklerden iki yıl daha önde gelişim seyrederek (21). Kemik gelişimi kadınlarda yaklaşık 18 erkeklerde 21-22 yaşlarına kadar devam eder (22, 23). Kemik dansitesi kadında daha düşüktür. Genç kadınlarda kemiği etkileyenin, yüklenme aktiviteleri olduğu ve bundan dolayı yüklenme aktiviteleri ile kemik yoğunluğunun artış gösterdiği belirtilmiştir (24-27).

Yetişkin kadın ve erkek iskeletleri incelendiğinde, kadınların daha ince, daha narin kemiklere ve daha düşük kemik yoğunluğuna sahip olduğu gözlemlenmiştir. Eklemleri daha ince ve yüzeyleri daha dardır. Ancak, daha iyi stabilizasyon sağlamak için kadınların diz eklemleri erkeklerinkinden daha büyüktür. Genellikle ergenlik döneminden itibaren, kadınlar erkeklerle kıyasla daha dar omuzlara ve daha geniş kalçalara sahiptir. Bu farklılıklar 15 yaşından sonra daha belirgin hale gelir. Kalça genişliği, leğen kemiğinin genişliği ve kalça çevresindeki yağ tabakasının toplamı ile belirlenir. Her ikisi de genç kızlarda daha fazla gelişir ve kadınlarda kalça eklemleri arasındaki mesafe erkeklerden daha büyüktür (28). Özellikle kadın sprinterler, ağırlıklarını ayakları üzerinde taşıırken yerçekimi merkezindeki dengeyi korumak için pelvislerini daha fazla hareket ettirirler (29). Bu nedenle, koşu sırasında daha büyük kas grupları devreye girer ve mekanik verimlilik azalır. Teorik olarak, bu durum kadınlarda koşu performansı için sınırlayıcı bir faktör olarak kabul edilebilir. Ancak yapılan araştırmalar, kalça genişliği ile koşu hızı arasında bir ilişki olmadığını göstermiştir (30).

Kadınların omurga uzunluğu, erkeklerin omurga uzunluğunun yaklaşık %86'sı kadardır. Bu durum, ağırlığın kalça ve uyluk çevresinde daha fazla dağılımına ve kadınların nispeten daha alçak bir ağırlık merkezine sahip olmasına neden olur. Yapılan birçok araştırma, kadınlar ve erkekler arasında ağırlık merkezi açısından ortalama %1'lik bir fark olduğunu göstermiştir (31). Kadınlardaki daha aşağıda bulunan ağırlık merkezi,

sıçrama, atma ve zıplama gibi aktivitelerde dezavantaj gibi görünse de jimnastiğin bazı branşlarında avantaj sağladığı görülmüştür (32).

Spor performansındaki en önemli cinsiyet farklılıklarından biri, ergenlikten sonra genellikle erkeklerde daha yüksek olan kuvvet ve ağırlık oranıdır. Bu faktör, özellikle kol ve omuz kasları gibi kas gruplarında kuvvet gerektiren jimnastik gibi aktivitelerde çok önemlidir. Kadınlarda küçük kas kısmındaki yağ dokusu daha fazla olduğundan kuvvet-kilo alımı daha düşük oranda görülür. Ancak yağ dokusunun fazlalığı bu kadınlarda bir dezavantaj olsa da soğuk sudaki ısı kaybının az olması ve sıvı miktarı sayesinde su akışını kolaylaştırarak avantaj sağlar. Ancak koşu branşında tam tersi durum gözlenmektedir (33).

Kadınlar ve erkekler arasındaki ortalama boy ve vücut ağırlığı farklılıkları gözle görülür düzeydedir. Kızlarda ergenliğin başlangıcına kadar cinsiyetler arasındaki boy ve kilo farkı minimum düzeydedir. Ancak bu dönemden sonra kızların boyu ve kilosu hızla artmasına rağmen iki üç yıl içinde erkekler kızları geride bırakır. Genel olarak erkekler kadınlara göre daha büyük vücut yapılarına sahiptir (34). Sporcular üzerinde yapılan araştırmalar da aynı sonuçları vermiştir. Kadın sporcuların erkek sporculara göre 5-10 santimetre daha kısa ve 10-15 kilogram daha hafif olduğu belirlenmiştir. Kız ve erkek çocuklar arasındaki performans farklılıkları kısmen vücut ölçülerindeki bu farklılıklara bağlanabilir (35). Atletizmde yüksek atlamada sporunda atlanan mesafe vücut ağırlığına oranlandığında erkekler 3 cm/kg vücut ağırlığına ulaşırken, kadınlar 3,3 cm/kg vücut ağırlığına ulaşarak çok yakın değerler göstermektedir (36). Benzer şekilde uzun atlamada da oran erkeklerde 10 cm/kg, kadınlarda ise 11 cm/kg olup yine birbirine yakın elde edilmiştir (37).

Kadın ve erkek arasındaki farklar sadece çeşitli dokuların bileşiminde değil, aynı zamanda bu dokuların içeriğinde de görülmektedir. Örneğin kadınların dokularında önemli ölçüde daha yüksek miktarda sülfür içerir. Ayrıca kreatin katsayıları da kadınlarda farklılık göstermektedir. Atletik performansı etkileyen yapısal farklılıklardan biri de cinsiyetler arasında kalp ağırlığı ile vücut ağırlığı arasındaki oran farkıdır. 10-60 yaş arası kadınlarda bu oran erkeklerdekinin ancak %85-90'ı kadardır. 60 yaşından sonra bu oran hem erkekte hem de kadında eşit hale gelmektedir (38).

2.1. Vücut Yağı ve Fiziksel Performans

Egzersiz, vücut yağ kütlelerini azaltmanın en etkili yollarından biridir (39). Ancak bu azalmanın derecesi, yapılan egzersizin türüne (örneğin, aerobik, direnç antrenmanı veya yüksek yoğunluklu interval antrenman), yoğunluğuna (hafif, orta veya şiddetli) ve süresine bağlıdır. Uzun süreli ve düzenli egzersiz, vücut yağ kütlelerinde daha büyük bir azalma sağlar ve metabolik sağlığı iyileştirir (40).

Aerobik egzersizler (koşu, yüzme, bisiklet) genellikle enerji harcamasını artırarak vücut yağını azaltmada etkilidir. Direnç egzersizleri ise kas kütlelerini artırarak bazal metabolizma hızını yükseltir, bu da dolaylı olarak yağ kaybına katkıda bulunur. Yüksek yoğunluklu interval antrenman, kısa sürede yüksek miktarda kalori yakımı sağlayarak hem aerobik kapasiteyi artırır hem de yağ kütlelerini azalmasına yardımcı olur (41).

Vücut yağ oranı arttıkça, fiziksel aktivitelerde etkili bir şekilde rol alan yağsız vücut kütlesi (kaslar, kemikler, su ve diğer dokular) oranı azalır. Bu, hareket kabiliyeti, dayanıklılık ve güç üretimini olumsuz etkileyebilir. Yağ oranının yüksek olması, enerji verimliliğini düşürerek bir bireyin performansını sınırlar (42).

Vücut yağ oranının artışı, kilogram başına düşen aerobik kapasiteyi (VO₂max) azaltır. VO₂max, bir bireyin dayanıklılık kapasitesini ve oksijen taşıma yeteneğini ölçer. Aerobik kapasitenin azalması, bireyin bir kilogram vücut kütleini hareket ettirmek için daha fazla enerji harcamasına neden olur. Bu durum, dayanıklılık gerektiren spor dallarında yorgunluğun daha çabuk oluşmasına yol açar (43).

Oksidatif enerji metabolizması, uzun süreli fiziksel aktiviteler sırasında enerji üretiminin temel kaynağıdır. Vücut yağ oranının yüksek olması, bu metabolizmanın verimliliğini azaltır. Özellikle koşu, bisiklet veya yüzme gibi spor dallarında, yüksek yağ oranına sahip bireyler daha fazla enerji harcar, bu da performans kaybına neden olabilir (44).

Düzenli egzersiz, yalnızca vücut yağını azaltmakla kalmaz, aynı zamanda metabolik avantajlar sağlar. Kas kütleini artırarak insülin duyarlılığını iyileştirir, kardiyovasküler sistemi güçlendirir ve yağ metabolizmasını optimize eder. Ayrıca, vücut ağırlığının kontrol edilmesine ve genel enerji dengesi sağlanmasına yardımcı olur (45, 46).

Egzersiz vücut yağ kütlei üzerindeki etkisi çok yönlüdür ve bireyin fiziksel performansında önemli bir rol oynar. Egzersiz türü, yoğunluğu ve düzenliliği, bu etkilerin büyüklüğünü belirler. Düşük yağ oranı ve yüksek yağsız kütle, bireyin hem performansını artırır hem de uzun vadeli sağlık sonuçlarını iyileştirir. Bu nedenle, egzersiz programları bireyin ihtiyaçlarına ve hedeflerine uygun şekilde planlanmalıdır (47).

3. KADINLARDA FİZYOLOJİK ÖZELLİKLER

Kadınlarda fizyolojik özellikler, kadın vücudunun anatomik ve biyolojik özelliklerini inceleyen bir konudur. Kadınların hormonal dengesi, üreme fonksiyonları, endokrin

sistem dinamikleri ve diğer fizyolojik temelleri incelenerek detaylı bir anlayış geliştirilir (48). Bu konu, kadın vücudunun temel işlevlerini ve değişimlerini anlamak için önemlidir ve kadın sağlığı alanında uzmanlar tarafından yoğun bir şekilde araştırılmaktadır. Kadınların fizyolojik özellikleri, hormonal farklılıklar, vücut yapıları ve kas-iskelet sistemlerindeki değişikliklerle belirginleşir (49). Bu farklılıklar hem günlük yaşam aktivitelerinde hem de sportif performansta önemli rol oynar (50, 51).

3.1. Hormonal Sistem

Kadınlarda östrojen ve progesteron gibi hormonlar, yağ depolama, su tutma ve enerji metabolizmasını etkiler. Özellikle menstrüasyon döngüsü sırasında bu hormonların dalgalanması, fiziksel performansı değişken hale getirebilir. Östrojenin kemik yoğunluğunu destekleyici etkisi bulunurken, progesteronun kas gücü üzerinde sınırlayıcı etkileri olabilmektedir (52, 53).

Kadınla erkek arasındaki hormonal farklar atletik performanstaki farkların çoğunda olmasa bile birçoğu üzerinde etkisi vardır. Erkek testislerinden salgılanan testosteron hormonunun güçlü bir etkisi vardır. Vücudun her bölgesinde özellikle de sportif performans için önemli olan kaslarda protein birikimini çok artırır. Spor faaliyetlerine neredeyse hiç katılmamasına rağmen vücudunda salgılanan testosteron seviyesinin yüksek olmasından erkeklerin kasları aynı yaşta olan bir kadının kasından yüzde 40 daha fazladır (54). Kadınlardaki östrojen hormonunu performanstaki farkları olsa da testosteron hormonunun etkisi kadar olamaz. Östrojen kadında, özellikle göğüsler, kalçalar ve deri altında yağ birikimine sebep olmaktadır. Bu yağ birikimi antrenmanlı olsun olmasın kadınlarda erkeklere oranla daha fazla yağ birikimi olduğunu gösterir. Yüksek düzeyde atletik performansta bir dezavantaj oluşturabilirken, mukavemete dayanan karşılaşmalarda yağın gerekli enerjiyi sağlaması

açısında yardımcı olması istenen bir durumdur. Kadınlık hormonu östrojenin atletizmde bir başka olumsuz yönü daha vardır. Ergenlikten sonra salgılanan östrojen hormonu, kadınların erkeklerle göre daha küçük olmasına neden olur. Ergenlikle beraber östrojen salgısındaki hızlı artış, büyümeyi gözle görülür şekilde hızlandırır. Ancak bu büyüme uzun sürmez çünkü uzun kemiklerin büyümesinden sorumlu olan epifiz kıkırdakları kısa bir süre içinde işlevlerini tamamlar ve kaybolur (55). Kadın sporcularda östrojen plazma konsantrasyonları ile eşdeğer olarak akut egzersiz sırasında güçte artar. Plazmadaki testosteron, erkeklerle karşılaştırıldığında akut egzersizle artar. Kadın sporcularda, plazma östrojen konsantrasyonları akut egzersiz sırasında başlangıçtaki plazma östrojen seviyeleriyle orantılı olarak artar. Plazma testosteron seviyeleri de akut egzersizle artar ancak erkeklerdeki kıyasla daha düşük kalır. Östrojenler egzersiz şiddeti ile doğru orantılı olarak egzersiz devam ettiği sürece artar (56). Yüzücülerde ve koşucularda ilk menstrüasyon sedanter bireylere göre daha geç başlar (57). Dünya çapındaki jimnastikçilerde puberte başlangıcı genellikle birkaç yıl gecikir. Menaj yaşının gecikmesinin egzersiz sırasında artan prolaktinin overlerin olgunlaşmasını önlemesine bağlı olduğu öne sürülmektedir (58). Bir başka açıdan bakıldığında hormonal sistem cinsiyet hormonlarının davranışlar üzerinde farklı etkileri olduğu görülmektedir. Yarışma sporlarının önemli bir kısmında gergin bir ruh hali üst düzey çaba için yan etki olabilir ve doğru karar verme noktasında kişiyi zor durumda bırakabilir. Sonuç olarak kızlar ve erkekler arasındaki vücut kompozisyonu farklılıkları, hormonal değişikliklerin daha belirgin varyasyonlara yol açmaya başladığı geç çocukluk ve ergenliğin erken dönemlerine kadar nispeten minimal ve tutarlı kalır. Ergenliğin başlamasıyla birlikte, kızlarda östrojen ve erkeklerde testosteron salgılanması, vücut kompozisyonunda önemli değişikliklere yol açarak her bir cinsiyete özgü farklı fiziksel gelişmeleri yansıtır. Erkeklerde testosteron hormonu kemik yapısında protein

sentezini uyarır ve kırmızı kan hücrelerinin oluşumunu hızlandıran eritropoietin hormonunun üretimini artırır. Kadınlarda salgılanan östrojen hormonu, özellikle kalça, uyluk ve üst bacaklarda yağ depolanmasını artırır. Ayrıca kemik gelişimini uyararak erkeklere kıyasla daha erken büyüme ve olgunlaşmaya yol açar (59).

3.2. Kas Sistemi

Kadınların kas sistemi, özellikle üst ekstremitelerde, erkeklere kıyasla hacim ve uzunluk açısından genellikle daha az gelişmiştir. Ortalama olarak, kadınlar aynı boyuttaki erkeklere göre %15-20 daha az kas kütlesine sahiptir. Doğumdan ergenliğe kadar, kas kütlesi sabit bir şekilde artar. Erkeklerde ise toplam kas kütlesi oranı doğumdaki %25'ten, yetişkinlikte %40 veya daha yüksek seviyelere çıkar. Bu artış, erkek hormonları olan testosteronun kas gelişimi üzerindeki etkisini yansıtır. Kas gelişimindeki bu cinsiyet farkı, erkekler ve kadınlar arasındaki genel güç ve fiziksel performans farklılıklarına katkıda bulunur (60). Kas kütlesindeki artışın önemli bir kısmı gelişimin önemli boyutta artış gösterdiği ergenlik dönemindedir. Bunun en önemli sebebi testesteron hormonunun salgılanmasının en yoğun olduğu ergenlik dönemidir. Kadınlarda ise durum erkeklerden farklıdır. Kadınlar ergenlik döneminde hızlı bir kas gelişimi göstermez. Kadınlarda kas gelişimi sürekli ve ancak erkeklerin gelişimi gibi hızlı değildir. Büyümeyle beraber kas kütlesinde görülen artış, kasların enine genişlemesi olan hipertrofidir. Kas lif sayısındaki artış olan hiperplasia az miktarda görülür, ya da hiç görülmez. Hipertrofinin artması kasın yapısında buluna miyoflamentlerin ya da miyofibrillerin artmasıyla oluşur. Kasın boyunda görülen uzama ise sarkomer sayısındaki artış ve sarkomerlerin boyundaki artış ile olur (61). Kas kütlesi kadınlarda 16- 20 yaş aralığında erkeklerde ise 18-25 yaşlarında kontrollü spor ve kontrollü beslenme ile zirveye ulaşabilir. Hipertrofi testesteron hormonu tarafından kontrole alınır ve sağlıklı erkeklerde kadınlara oranla

10 kat daha fazladır. Bu durumda kadınlarda az miktarda kas kütlesi ve yoğun miktarda deri altı yağ depoları olmasından dolayı kuvvet antrenmanlarında oluşmasını beklediğimiz kas hipertrofisi testosteronun etkisiyle erkeklerde kadınlara oranla daha fazla oluşur (62). Kadınlarda bulunan kas tendonları erkeklere nazaran vücut kütleleriyle orantılı olarak daha zayıftır. Kadınlar da tendonlar küçük olduğu için eklemler üzerinde daha az sürtünme olur ve daha fazla hareket edebilme fırsatı oluşur. Kadınların kas kütlesinin az olması vücut yağ oranında fazlalık olmasına rağmen kas fibrilleri yönünden bir farklılık görülmemiştir (63). Bütün bu düzenli sistemin sonucunda antrenman sonuçlarında, daha az bir gelişim olduğu gözlenmiştir. Kadınların gücü erkeklere oranla daha azdır. Bu durum ergenlikten sonra erkeklerde salgılanan testosteron hormonundan kaynaklanmaktadır. Güç ya da kuvvet etkisinin artmasında küçük kas ağırlığı sporcular için olumsuz bir durumdur. Gelişimin devam etmesiyle kas kütlesindeki artış hipertrofiye (kas liflerinde bulunan myoflament ve miyofibril miktarındaki artış) bağlıdır. Kas boyunun uzaması ise sarkomer (kasın kasılabilir en küçük kesiti) boyundaki uzama ile gerçekleşir. Kas kütlesindeki artış kilo artışına bağlıdır. Erkeklerde ergenlikte salgılanan testosteron hormonunun etkisi ile kas kütlesinin de hızlı bir şekilde artması görülürken bu durum kadınlarda gözlenmez. Kadınlarda 16-18 yaş arasında erkeklerde ise 18-25 yaş aralığında en yüksek seviyeye gelir (64).

3.3. Kütle, Kuvvet ve Güç Farklılığının Egzersizdeki Durumu

Yetişkin genç kadınların kas kütlesi ile aynı özelliklerdeki erkeklerin kas kütlesinden yaklaşık %25- 30 daha az olduğu için iskeletin boyutundaki değişikliklerde, pelvisin genişlemesinde, kısa ayakların olması sonucunda görülmüştür ki kadınların ağırlık merkezleri daha düşüktür. Ağırlık merkezinin yere daha yakın olması dengeyi artırır. Yürüyüşün değişmesi, uyluk kemiğindeki

açı değişikliği dizlerin hareketindendir. Bu durum kadınlarda bağlarda gevşeklik olmasının yanı sıra spor yapan kadınların ön çapraz bağlarındaki kopmaları erkeklerden daha olasıdır. Kadınların kol ve bacak boyunun kısa olması adım sıklığını artırır yani çabuk olmalarını sağlar. Vücudun alt ekstremitesinde bulunan aşıl tendonu kadınlarda erkeklere oranla daha kısa olduğu için yaralanma riski yüksek düzeydedir (65). Kas kuvveti değerlendirildiğinde cinsiyete göre eksantrik kasılmalarda küçük, konsantrik kasılmalarda büyüktür. Kassal kuvvet ergenlik döneminde büyüme hızı gibi hızlı seyreder. Maksimum kuvvet zirveye çıkar. Kadınların maksimal gücü erkeklerin maksimal gücünden daha azdır. Kadınların esneklikleri erkeklerden daha fazladır (66, 67).

3.4. Dolaşım Sistemi

Dolaşım sistemi, kanın damarlar içerisinde dolaşımını sağlayarak hücrelerin madde taşınmasını, beslenmesini, onarımını, sıcaklığın vücuda dağılımını ve hormonlarla birlikte gerekli maddelerin ve en önemlisi oksijenin taşınmasını sağlamaktadır. Kısacası kanın kalbin pompalamasıyla vücutta taşınması ve bu sayede yaşamsal döngünün devam etmesidir (68). Kadınlardaki kas kütesinin erkeklerden az olmasından dolayı kalp erkeklerin kalbinden daha küçüktür. Maksimal atım ve volüm sayısı kalp ile ilgili olduğu için kalbin büyüklüğü sporcularda önemlidir (69). Alyuvarların aerobik performansta önemli bir yeri olduğu için kan hacmi, kişinin elektrolit dengesi ve içerisinde bulunan yağ miktarına, antrenman düzeyine göre değişiklik gösterir. Kalp kanı pompalarken kaslara giden oksijen miktarı kalp hacmi ile doğrudan orantılıdır. Kadınlarda bu oran erkeklere göre düşüktür ve buna bağlı olarak Max VO₂ değeri de düşük olacaktır. Kadınlardaki yağ oranı fazlalığı ve kas azlığı, düşük hemoglobin seviyesi, arterial kandaki düşük oksijen miktarı da Max VO₂ miktarındaki değişikliğe sebebiyet verir (70). Kaslarda oksijeni miyogloblin sağlarken kanda oksijenin

taşınmasını sağlayan hemoglobin max VO₂'yi belirler. Alyuvarlarda bulunan hemoglobin oksijeni büyük kan dolaşımı sayesinde iskelet kaslarına taşır. Seder bir kadının 100 ml kanında bulunan hemoglobin miktarı 14 gram, erkeklerde yaklaşık 16 gramdır. 1 gram hemoglobinde 1,35 ml oksijen vardır (60, 71, 72). Genç kadınlarda hemogram oranının az olması menstrüal dönemde de demir kaybetmesiyle anemiye kadar giden olumsuzluklarla karşılaşmasına sebep olabilir (73). Kalbin hacmi ve volümü kalp kasının kuvveti ve kan miktarıyla doğru orantılı olduğu gibi kalbin gelişimi iskelet kası ile de aynı seyreder. Kadınlarda kas hipertrofisi testosteron hormonunun az salgılanmasından dolayı kas hipertrofisi de az gelişim göstermektedir. Bu bağlamda kalp kuvveti de kas gelişimi ile doğru orantılı olduğu için kan miktarı ve hacmi de azdır bu sebeple kalp daha çabuk yorulur. Submaksimal egzersizlerde kalp atım hacmi kadınlarda erkeklere göre azdır(74). Kalp atımı dakikada kalbin büyüklüğü ve volümüne göre değiştiği için dakikada kalp atımı kadınlarda erkeklere oranla daha yüksektir. Kadınlarda düşük hemoglobin olmasından dolayı oksijen kullanım kapasiteleri erkeklere oranla düşüktür. Bu nedenle submaksimal bir iş yükünde kalp dakikada daha fazla atım yapar. Seder genç kadınlarda maksimal kalp atım volümü erkeklerle karşılaştırıldığında durum farklıdır. Kadınlarda maksimal kalp atım volümü 18,5 litre/dakika iken erkeklerde 24,1 litre/dakikadır. Erkekler ile kadınlar arasında yüzde 30 oranında bir fark olduğu görülmektedir (75-77).

3.5. Solunum Sistemi

Solunum sisteminde görevli akciğerlerde solunum kapasitesinin bazı fiziksel faktörlerle orantılı bir gelişim gösterdiği görülmüştür (78). Akciğerler ve solunum kapasitesinde yaş, boy, vücut ağırlığı doğru orantılıdır. Seder bir kadının akciğer kapasitesi aynı seviyedeki erkeklere göre %10 daha azdır. Bu kapasite alveol çapları ve solunum derinliğini de erkeklere

göre azaltmıştır. Solunum yollarında enine kesiti kadınlarda erkeklere göre daha küçüktür. Yine vital kapasite erkeklere göre daha düşük, istirahat solunum frekansı ise yüksektir (79, 80).

3.6. Sinir Sistemi ve Sinir Kas Fonksiyonu

Kadınlarda merkezi sinir sistemi erkeklere göre daha iyidir ve reaksiyon zamanı daha uzundur. Araştırmalar kadınların el becerilerinin erkeklerden daha iyi düzeyde olduğunu göstermiştir (81, 82). Amerika’da yapılan bir araştırmada görsel etkinliklere verilen tepkilerin neredeyse aynı olduğu ancak erkeklerin daha süratli olduğu tespit edilmiştir (60, 83).

4. ENERJİ SİSTEMLERİ VE KADIN

4.1. ATP-PC Sistemi

ATP-PC sisteminin kaslardaki çalışma sistemi kadınlar ve erkeklerde neredeyse birbirine yakın değerlere sahiptir. Bir kilogram kas da yaklaşık 4 mmol kilogram ATP 16 mmol kreatin fosfat (CP) bulunmaktadır (84). Ancak kas yoğunluğuna bakıldığında kadınlarda az olduğundan ATP-PC miktarını ve anaerobik gücün üzerinde etkileri vardır. Kadınlar ve erkeklerde ATP-PC alaktasit oksijenlerine ve performanslarına bakılarak bilgi edinmek mümkündür (85). Kadın ve erkek sporcu arasındaki farka bakabileceğimiz en iyi spor branşı 100m ve 200m koşudur. Bu branşların en önemli enerji kaynağı ATP-PC’dir. Sprinter branşında kadın ve erkek arasında fark çok azdır. Bunun sebebi kadınların kas kütlesi miktarının az olmasından dolayıdır(86, 87).

4.2. Laktik Asit Sistemi (Anaerobik Glikoliz)

Kadınlarda kas da depolanan glikojen yoğunluğu düşük, yağ oranı yüksektir. Laktik asit sisteminde kas glikojeninden enerji sağlanır. Kadınlarda bu değer düşük olması demek laktik asitin açığa çıktığı performanslarda (örneğin 800m koşu) laktik

asit seviyesinin de düşük olması demektir. Bundan dolayı kadınların laktik asit performans toleresi daha yüksektir (88-90).

4.3. Oksijen Sistemi (Aerobik Glikoliz- Aerobik Kapasite)

Aerobik kapasite, oksijenli ortamda kardiyorespiratuar sistemi ile bağlantılı dokuların ihtiyacı olduğu maxVO₂ sistemidir (91). Kadınlar da kas kütlesi erkeklere göre az olduğu için maxVO₂ oranı hemen hemen 11 ml/kg/dk olduğu bilinmektedir (92). Spor branşından bağımsız cinsiyete özgü fark ise 20-30 ml civarındır. Maksimum oksijen kullanımı 10-15 yaşlarına kadar kadınlarda ve erkeklerde farklı değildir. Erkeklerde yaş ilerledikçe bir miktar daha artar ancak kadınlarda artmadığı gibi de düşüş gözlemlenebilir. Kadınların oksijen tüketiminde en yüksek seviye 15-18 yaşlarına tekabül eder (93, 94).

4.4. Egzersiz Sırasında Metabolizma

Submaksimal düzeyde gerçekleştirilen egzersizlerde kadınlar erkeklere göre fazla miktarda adipoz doku lipidlerini tepkimede kullanması ve oksidasyona uğraması görülür (95). Kadınlar kas kütlelerinin az olmasından kaynaklı daha az kas lifi vardır ve bu durumda daha az glikojen bağlanmaktadır (96). Bu farklılık yapılan aerobik performansına göre değişiklik gösterir. Ancak yüksek şiddetli egzersizde belirgin farklılıklar olmayabilir. Bunun nedeni ise kadınlarda karın deri alt yağı dokusunun katekoleminlerin lipidlerde gerçekleşen beta oksidasyonundan ya da östrojen hormonu ile ilgili olduğu düşünülmektedir (97, 98).

5. KADINLARDA EGZERSİZİN YARARLARI

Farklı bölgelerde yapılan birçok araştırma gösteriyor ki kadın ve erkeklerin risk durumları kontrol edildiğinde, yaşam kalitesini önemli ölçüde artırdığı görüşmüştür (51, 99). Fiziksel aktivite seviyelerinde bir düşüş olması durumda uzun vade

kardiyovasküler ölümler görülmüştür (100, 101). İleri yaş da menopoz döneminden sonraki yaklaşık 7 yıllık bir araştırma izlendiğinde fiziksel aktivitenin kardiyovasküler ölüm ile negatif yönlü bir ilişki olduğu görülmüştür (102).

6. KADINLARDA SPORTİF PERFORMANS VE MENSTRUAL DÜZENSİZLİKLER

Egzersiz veya sportif performans kişiden kişiye farklılık gösteren menstrüal döngünün herhangi bir zamanında uygulanabilir (103). Menstrüal döngü boyunca yapılan sportif aktivitelerin normal zamanda yapılan sportif aktivite ile arasında önemli bir farkın olduğunu kanıtlayan bu alanda yapılmış bir çalışma bulunmamaktadır. Ancak menstrüal döngü boyunca fiziksel aktivite yapmanın yapmayanlara göre daha az yorgun olduğu belirtilmiştir (104). Kadın atletler tarafından kırılan dünya rekorları menstrüal döngünün her aşamasında görülmüştür (105). Kadın sporcuların yapmış olduğu ağır egzersizler, belirli branşlara göre yapılan beslenme düzeni ve vücut kompozisyonu menstrüal siklusa olumsuzluklar oluşturabilir ve bunun yanı sıra kemik mineralizasyonunda bozulmalara sebebiyet verebilir (106, 107). Bu da osteoporoz gibi ciddi hastalıklara kadar gidebilir (108). Menstrüasyon fonksiyonlarının bozukluklarında; dismenore, amenore, primer amenore, sekonder amenore gibi farklı fizyolojik faktörler meydana gelebilir (109).

Dismonere: Günlük basit fiziksel aktiviteler üzerinde olumsuz etkisi olan her kadın sporcu da görülmese de olimpik seviyedeki sporcularda iki kat daha fazla görülen ağırlı veya sancılı menstrüal döngüdür (110).

Amenore: Beslenme bozukluğu ve uzun süreli fazla egzersiz yapan sporcularda kilo kaybı sonucu oluşan yağ oranındaki düşüş yeterli dengeli beslenememekten dolayı düşen protein alımından kaynaklı düzenli menstrüal döngüyü

bozmaktadır (111). Amenore jimnastik, bale lülenizin hormon(LH) veya folikül stimulan hormonun(FSH) salgılanmasının azalmasından dolayı görülen enerji alımında eksiklik kilo kaybı ve egzersizde düşüşe neden olur (109, 112).

Primer Amenore: Menstrüal döngünün ergenlik yaşı geçmiş olmasına rağmen gerçekleşmemiş olmasıdır (113, 114).

Sekonder Amenore: İlk menstrüal döngünün ardından hamilelik veya menopoz görülmemesinin art arda iki- üç menstrüal döngünün olmamasıdır (115).

7. KADIN SPORCU ÜÇLEMESİ

Kadınlar için sağlıklı bir yaşam sürdürmek ve bunu sürekli hale getirmek için sporun büyük bir payı vardır. Düzenli yapılan spor beden sağlığı için önemli bir yere sahiptir. Sporun beden sağlığındaki fiziksel, fizyolojik etkileri ileride yaşanması olası kardiovasküler rahatsızlıkların ve diyabetin önüne geçmek için bir fırsattır (116). Bundan dolayı son zamanlarda kadınların sporsal faaliyetlere katılma oranı giderek artmaktadır. Böylece bu alanda yapılan kadınlarla ilgili fizyolojik ve endokrinolojik çalışmaların da sayısı artmıştır. Kadınlar spor hayatına katıldıktan sonra sağlıkları ile ilgili birtakım sorunlar baş göstermiştir. İşte bu sağlık sorunu da kadın spor üçlemesidir (117). Yanlış yeme alışkanlıkları, aşırı yüklenmeden kaynaklanan kadın sporcu üçlemesinde; yeme bozuklukları (düşük enerji alımı sonuçları), menstrüal bozukluklar (ikincil amenore), kemik mineral yoğunluğunda görülen azalma (östrojen eksikliğinden) osteoporoz olarak üç bölüme ayrılmaktadır (118). Kadın sporcu üçlemesinin belirgin risklerinin olduğu bilinse de bu alanda tedaviler ile ilgili çalışmaların sayısı da olduğu görülmektedir (119). Olumsuz durumlarla karşılaşmamak için yapılması gerekenler ise doğru ve düzenli beslenme ile karbonhidrat ve protein alımına dikkat etmek ve bazen de fazla enerji

harcamamak için alınan ve kullanılan enerji dengesini sağlamak adına egzersizde azaltılmaya gitmek önerilebilir (118, 120).

8. OSTEOPOROZ VE ÖNLENMESİ İÇİN EGZERSİZ ÖNERİLERİ

Osteoporoz; kemik yoğunluğunda azalma, kemik kırılma risk faktörünün artmasına neden olan düşük kemik mineral yoğunluğundan dolayı kemik dokusunda görülen hasar sebebiyle ortaya çıkan bir hastalıktır (121). Sağlıklı kemikler güçlü, kalın ve serttir (122). Kemik mineral yoğunluğunun azalması kalsiyum alımının eksikliğiyle ilişkilidir (123). Kemik yoğunluğunun azalması sağlıklı kemik oluşmasına sebep olur (124). Kemiklerin yüzeyinde gözenekler oluşur ve bu da kırık oluşmasına sebebiyet verir (125). Aktif spor yapan kişilerin sedanter kişilere göre osteoporoza yakalanma riski daha azdır. Her insanda görülen osteoporoz kadınlarda menopoza sonrası erkeklere oranla daha fazladır. Osteoporoz görülmesinde en önemli üç temel durum vardır. Bunlar; östrojen salgısının azalması, kalsiyum tüketiminde eksiklik, fiziksel aktivitenin azlığı (126, 127). Kemiğe yapılan aşırı baskı yani fiziksel aktivite kemiğin bu baskıya karşı gelerek daha güçlü kalmasını sağlar. Bu nedenle kemik depolama oranı artar. Dayanıklılık sporları osteoporozun önüne geçmesinde iyi bir seçim olacaktır (128, 129).

KAYNAKLAR

1. Bingöl H, Yalçın İ. Spor ve Bilim: Akademisyen Kitabevi; 2021.
2. Açıkada C, Ergen E. Bilim ve Spor,(1. Baskı). Ankara: Büro Tek Ofset Matbaacılık. 1990.
3. Bilge M. Fizyolojide hormonlar bilgisi. Ankara: Güven Kitabevi Yayınları. 1979.
4. Aslan CS, Çınar Z. Aktif veya sedanter kadın ve erkek bireylerin seçilmiş fiziksel ve fizyolojik özelliklerinin karşılaştırılması. Spor Hekimliği Dergisi. 2012;47(1):029-36.
5. Durusoy F. Genç kadın ve Spor. Spor Hekimliği Dergisi. 1981;16(3):95-9.
6. Podrigalo LV, Artemieva HP, Rovnaya O, Misevra NS, Podavalenko A, Sokol K, et al. Features of physical development and somatotype of girls and women involved in fitness. Pedagogics, psychology, medical-biological problems of physical training and sports. 2019(4):189-95.
7. Ransdell LB, Wells CL. Sex differences in athletic performance. Women in Sport and Physical Activity Journal. 1999;8(1):55-81.
8. Garcia-Pastor T, Salinero JJ, Sanz-Frias D, Pertusa G, Del Coso J. Body fat percentage is more associated with low physical fitness than with sedentarism and diet in male and female adolescents. Physiology & behavior. 2016;165:166-72.
9. Borer KT. Exercise endocrinology: Human Kinetics; 2003.
10. Theodorakis N, Kreouzi M, Pappas A, Nikolaou M. Beyond Calories: Individual Metabolic and Hormonal Adaptations

Driving Variability in Weight Management—A State-of-the-Art Narrative Review. *International Journal of Molecular Sciences*. 2024;25(24):13438.

11. Kjaer M, Secher NH, Bach F, Galbo H. Role of motor center activity for hormonal changes and substrate mobilization in humans. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*. 1987;253(5):R687-R95.
12. Güner R. Egzersizde Hormonal Uyumlar. *Egzersiz Fiziyojisi*. 1995:83.
13. Parlaz EA, Tekgül N, Karademirci E, Öngel K. Ergenlik dönemi: fiziksel büyüme, psikolojik ve sosyal gelişim süreci. *Turkish Family Physician*. 2012;3(2):10-6.
14. Biro FM, Greenspan LC, Galvez MP. Puberty in girls of the 21st century. *Journal of pediatric and adolescent gynecology*. 2012;25(5):289-94.
15. DiVall SA, Radovick S. Pubertal development and menarche. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 2008;1135(1):19-28.
16. McKay HA, Bailey DA, Mirwald RL, Davison KS, Faulkner RA. Peak bone mineral accrual and age at menarche in adolescent girls: a 6-year longitudinal study. *The Journal of pediatrics*. 1998;133(5):682-7.
17. Saggese G, Baroncelli GI, Bertelloni S. Puberty and bone development. Best practice & research *Clinical endocrinology & metabolism*. 2002;16(1):53-64.
18. Magarey A, Boulton T, Chatterton B, Schultz C, Nordin B, Cockington R. Bone growth from 11 to 17 years: relationship to growth, gender and changes with pubertal status including timing of menarche. *Acta paediatrica*. 1999;88(2):139-46.

19. Simmons K, Greulich WW. Menarcheal age and the height, weight, and skeletal age of girls age 7 to 17 years. The journal of pediatrics. 1943;22(5):518-48.
20. Rogol AD, Roemmich JN, Clark PA. Growth at puberty. Journal of adolescent health. 2002;31(6):192-200.
21. Van Coeverden SC, De Ridder CM, Roos JC, Van'T Hof MA, Netelenbos JC, Delemarre-Van De Waal HA. Pubertal maturation characteristics and the rate of bone mass development longitudinally toward menarche. Journal of bone and mineral research. 2001;16(4):774-81.
22. Van Coeverden S, Netelenbos J, De Ridder C, Roos J, Popp-Snijders C, Delemarre-van de Waal H. Bone metabolism markers and bone mass in healthy pubertal boys and girls. Clinical endocrinology. 2002;57(1):107-16.
23. Cadogan J, Blumsohn A, Barker ME, Eastell R. A longitudinal study of bone gain in pubertal girls: anthropometric and biochemical correlates. Journal of Bone and Mineral Research. 1998;13(10):1602-12.
24. DeBar LL, Ritenbaugh C, Aickin M, Orwoll E, Elliot D, Dickerson J, et al. YOUTH: a health plan-based lifestyle intervention increases bone mineral density in adolescent girls. Archives of pediatrics & adolescent medicine. 2006;160(12):1269-76.
25. Kardinaal A, Ando S, Charles P, Charzewska J, Rotily M, Väänänen K, et al. Dietary calcium and bone density in adolescent girls and young women in Europe. Journal of Bone and Mineral Research. 1999;14(4):583-92.
26. Dhuper S, Warren MP, Brooks-Gunn J, FOX R. Effects of hormonal status on bone density in adolescent girls. The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism. 1990;71(5):1083-8.

27. Seeman E. Reduced bone density in women with fractures: contribution of low peak bone density and rapid bone loss. *Osteoporosis International*. 1994;4:S15-S25.
28. Saggese G, Baroncelli GI, Bertelloni S. Puberty and bone development. *Best Pract Res Clin Endocrinol Metab*. 2002;16(1):53-64.
29. Liu Z, Sawada S, Deng P, Naito H, Machida S. Effect of Body-Weight-Based Resistance Training on Balance Ability and Fear of Falling in Community-Dwelling Older Japanese Women. *Sports (Basel)*. 2025;13(1).
30. Boles CA, Ferguson C. The female athlete. *Radiol Clin North Am*. 2010;48(6):1249-66.
31. Hay JG. The center of gravity of the human body. *Kinesiology III*. 1973:20-44.
32. Pawlowski B, Grabarczyk M. Center of body mass and the evolution of female body shape. *Am J Hum Biol*. 2003;15(2):144-50.
33. Bergstrom E, Hernell O, Lonnerdal B, Persson LA. Sex differences in iron stores of adolescents: what is normal? *J Pediatr Gastroenterol Nutr*. 1995;20(2):215-24.
34. Arena B, Maffulli N, Maffulli F, Morleo MA. Reproductive hormones and menstrual changes with exercise in female athletes. *Sports Med*. 1995;19(4):278-87.
35. Wilmore JH, Costill DL, Kenney WL. *Physiology of sport and exercise: Human kinetics* Champaign, IL; 2004.
36. Pavlovic R. The differences of kinematic parameters high jump between male and female finalists World Championship Daegu, 2011. *Turkish Journal of Kinesiology*. 2017;3(4):60-9.

37. Dimova I, Petkova P, editors. Bulgarian University Level Long Jump (Men And Women)–Status And Trend Of Development. 15th Conference Of Baltic Society Of Sport Sciences; 2022.
38. Bredella MA. Sex Differences in Body Composition. *Adv Exp Med Biol.* 2017;1043:9-27.
39. Simsek Z. Sportif Performansın Geliştirilmesinde Reformer Pilates Egzersizlerinin Önemi. *Spor Bilimleri Temelinde Güncel Tartışmalar- 3: Duvar Yayınları*; 2023. p. 33 - 42.
40. Mavi Var S. Dünde Bugünde Yarında Kadın. In: Nur Ç, editor. *Kadın ve Spor: Nobel Akademik Yayıncılık*; 2023. p. 402.
41. OBE FWD. *Sports Training Principles: An Introduction to Sports Science: Bloomsbury Publishing*; 2014.
42. Heipertz W. Spor Hekimliği (Çev. Mİ Arman), Sermet Matbaası, 7. Baskı, Kırklareli. 1985:43-50.
43. Devries H. *Physiology of Exercise for Physical Education and Athletics.* Iowa. Wmc Brown Publishers; 1986.
44. Buckley JP. *Exercise physiology in special populations: Advances in sport and exercise science: Elsevier Health Sciences*; 2008.
45. Biçer Y, Peker İ, Savucu Y. Kalp Tek Damar Tıkanıklığı Olan Kadın Hastalarda Planlanmış Düzenli Yürüyüşün Bazı Kan Lipitleri Üzerine Etkisi. *Fırat Üniversitesi Doğu Araştırmaları Dergisi.* 2005;4(1):102-11.
46. Rowell LB. Human cardiovascular adjustments to exercise and thermal stress. *Physiol Rev.* 1974;54(1):75-159.
47. Plowman SA, Smith DL. *Exercise physiology for health fitness and performance: Lippincott Williams & Wilkins*; 2013.

48. Karolkiewicz J, Krzywicka M, Szulinska M, Musialik K, Musialowska D, Zielinski J, et al. Effects of a Circuit Training Program on Myokine Levels in Insulin-Resistant Women: A Randomised Controlled Trial. *J Diabetes Res.* 2024;2024:6624919.
49. Fox EL, Bowers RW, Foss ML. The physiological basis for exercise and sport 1993.
50. Shaver LG. Essentials of exercise physiology: Burgess Publishing Company; 1981.
51. Zorba E, Spor Hİ, Uygunluk F. GSGM Eğitim Dairesi. Ankara; 1999.
52. Gökbel H, Dölek Ç. Egzersize bazı hormonal cevaplar. *Spor Hekimliği Dergisi*, 33: 87. 1998;94.
53. Courrier R. Interactions between estrogens and progesterone. *Vitamins & Hormones*. 8: Elsevier; 1950. p. 179-214.
54. Günay M, Cicioğlu İ. Spor Fizyolojisi, Gazi Kitabevi, Baran Ofset, 1. Baskı, Ankara. 2001;219:24-6.
55. Bergström E, Kernell O, Lönnnerdal B, Åke Persson L. Sex differences in iron stores of adolescents: what is normal? *Journal of pediatric gastroenterology and nutrition*. 1995;20(2):215-24.
56. Thong FS, McLean C, Graham TE. Plasma leptin in female athletes: relationship with body fat, reproductive, nutritional, and endocrine factors. *Journal of Applied Physiology*. 2000;88(6):2037-44.
57. Bale P, Nelson G. The effects of menstruation on performance of swimmers. *Aust J Sci Med Sport*. 1985;17(1):19-22.
58. Malina RM, Baxter-Jones AD, Armstrong N, Beunen GP, Caine D, Daly RM, et al. Role of intensive training in the

- growth and maturation of artistic gymnasts. Sports Medicine. 2013;43:783-802.
59. İLHAN H. Puberte Fizyolojisi. Türkiye Klinikleri Pediatric Surgery-Special Topics. 2018;8(3):5-8.
60. Günay M, Cicioğlu H, Şıktar E, Şıktar E. Çocuk, Kadın, Yaşlı ve Özel Gruplarda Egzersiz 2017.
61. Schoenfeld BJ. Science and development of muscle hypertrophy: Human Kinetics; 2020.
62. Cureton KJ, Collins MA, Hill DW, McElhannon FM, Jr. Muscle hypertrophy in men and women. Med Sci Sports Exerc. 1988;20(4):338-44.
63. Kubo K, Kanehisa H, Fukunaga T. Gender differences in the viscoelastic properties of tendon structures. European journal of applied physiology. 2003;88:520-6.
64. Kraemer WJ, Fleck SJ, Deschenes MR. Exercise physiology: integrating theory and application: Lippincott Williams & Wilkins; 2011.
65. Philips J. ACSM's exercise is medicine. Lippincott Williams & Wilkins; 2009.
66. O'Connor TE, Lamb KL. The effects of Bodymax high-repetition resistance training on measures of body composition and muscular strength in active adult women. The Journal of Strength & Conditioning Research. 2003;17(3):614-20.
67. Bompa TO, Buzzichelli C. Periodization-: theory and methodology of training: Human kinetics; 2019.
68. Noordergraaf A. Circulatory system dynamics: Elsevier; 2012.

69. Pittman RN. The circulatory system and oxygen transport. Regulation of Tissue Oxygenation: Morgan & Claypool Life Sciences; 2011.
70. Opondo MA, Sarma S, Levine BD. The cardiovascular physiology of sports and exercise. Clinics in Sports Medicine. 2015;34(3):391-404.
71. Lundgren KM, Karlsen T, Sandbakk Ø, James PE, Tjønnå AE. Sport-specific physiological adaptations in highly trained endurance athletes. Medicine & Science in Sports & Exercise. 2015;47(10):2150-7.
72. Spires J, Lai N, Zhou H, Saidel GM, editors. Hemoglobin and myoglobin contributions to skeletal muscle oxygenation in response to exercise. Oxygen transport to tissue XXXII; 2011: Springer.
73. Harris SS, Tanner S. Helping active women avoid anemia. The Physician and Sportsmedicine. 1995;23(5):34-48.
74. McArdle WD, Katch FI, Katch VL. Essentials of exercise physiology: Lippincott Williams & Wilkins; 2006.
75. Desmond S. The cardiovascular and metabolic adaptations to iso-caloric moderate intensity and high intensity exercise. 1999.
76. Noyan A. Yaşamda ve hekimlikte fizyoloji: Meteksan; 2004.
77. Özden M. Fizyoloji. Ankara, Songür Yayıncılık. 1999.
78. Lekeux P, Art T, Hodgson DR. The respiratory system: anatomy, physiology, and adaptations to exercise and training. The Athletic Horse: principles and practice of equine sports medicine. 1994:79-127.
79. Brazile TL, Levine BD, Shafer KM. Physiological principles of exercise. NEJM evidence. 2025;4(1):EVIDra2400363.

80. Beachey W. Respiratory Care Anatomy and Physiology E-Book: Foundations for Clinical Practice: Elsevier Health Sciences; 2022.
81. McEwen BS. The molecular and neuroanatomical basis for estrogen effects in the central nervous system. The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism. 1999;84(6):1790-7.
82. Genazzani AR, Monteleone P, Gambacciani M. Hormonal influence on the central nervous system. Maturitas. 2002;43:11-7.
83. Thompson DM, Koppes AN, Hardy JG, Schmidt CE. Electrical stimuli in the central nervous system microenvironment. Annual review of biomedical engineering. 2014;16(1):397-430.
84. Hagerman F. Training The Energy Systems: Part I.
85. Wallace JP, editor Exercise Physiology. Seminars in Reproductive Endocrinology; 1985: Copyright© 1985 by Thieme Medical Publishers, Inc.
86. Mitchell JH, Tate C, Raven P, Cobb F, Kraus W, Moreadith R, et al. Acute response and chronic adaptation to exercise in women. Medicine & Science in Sports & Exercise. 1992;24(6):258-65.
87. Esmaeili H, Amani AR, Afsharnezhad T. Effect of linear and non-linear resistance exercise on anaerobic performance among young women. International Journal of Kinesiology and Sports Science. 2015;3(3):24-7.
88. Plowman SA, Smith DL. Anaerobic metabolism during exercise. Sports-Specific Rehabilitation. 2007;23:213-30.
89. Clark CL. Anaerobic power assessment in female athletes. 1982.

90. Sagiv MS, Sagiv MS. Exercise physiology. Exercise cardiopulmonary function in cardiac patients. 2012;1-31.
91. Lunt SY, Vander Heiden MG. Aerobic glycolysis: meeting the metabolic requirements of cell proliferation. Annual review of cell and developmental biology. 2011;27(1):441-64.
92. Schurr A, Passarella S. Aerobic glycolysis: a DeOxymoron of (neuro) biology. Metabolites. 2022;12(1):72.
93. Hill D, Smith J. Gender difference in anaerobic capacity: role of aerobic contribution. British journal of sports medicine. 1993;27(1):45-8.
94. Barril DM. The Physiology of Aerobic Capacity in Women: CRC Press; 2024.
95. Ranallo RF, Rhodes EC. Lipid metabolism during exercise. Sports Medicine. 1998;26:29-42.
96. Hargreaves M. Skeletal muscle metabolism during exercise in humans. Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology. 2000;27(3):225-8.
97. Ashley CD, Kramer ML, Bishop P. Estrogen and substrate metabolism: a review of contradictory research. Sports Medicine. 2000;29:221-7.
98. Oosthuyse T, Bosch AN. Oestrogen's regulation of fat metabolism during exercise and gender specific effects. Current opinion in pharmacology. 2012;12(3):363-71.
99. Carbon RJ, Whyte G, Budgett R, McConnell AK. Medical conditions and training. The Physiology of Training: Advances in Sport and Exercise Science series. 2006:191.
100. Zeldis SM, Morganroth J, Rubler S. Cardiac hypertrophy in response to dynamic conditioning in female athletes. Journal of Applied Physiology. 1978;44(6):849-52.

- 101.Wenger N. Cardiac Rehabilitation: Guide to Procedures for the Twenty-first Century: CRC Press; 1999.
- 102.Koponen H, Jokelainen J, Keinanen-Kiukaanniemi S, Kumpusalo E, Vanhala M. Metabolic syndrome predisposes to depressive symptoms: a population-based 7-year follow-up study. *Journal of Clinical Psychiatry*. 2008;69(2):178.
- 103.Vaziri F, Hoseini A, Kamali F, Abdali K, Hadianfard M, Sayadi M. Comparing the effects of aerobic and stretching exercises on the intensity of primary dysmenorrhea in the students of universities of bushehr. *Journal of family & reproductive health*. 2015;9(1):23.
- 104.Kolić PV, Sims DT, Hicks K, Thomas L, Morse CI. Physical activity and the menstrual cycle: A mixed-methods study of women's experiences. *Women in Sport and Physical Activity Journal*. 2021;29(1):47-58.
- 105.Lutter JM, Cushman S. Menstrual patterns in female runners. *The Physician and Sportsmedicine*. 1982;10(9):60-72.
- 106.Özdemir R, Küçüköğlu S. Bayan Sporcularda Menstruasyonun Sürat Ve Dayanıklılığa Etkisi. *Spor bilimleri dergisi*. 1993;4(4):3-9.
- 107.Drinkwater BL. Women: Menstrual Dysfunction, Premature Bone Loss, and Pregnancy. *Future Directions in Exercise and Sport Science Research*. 1989:245-58.
- 108.West RV. The female athlete: the triad of disordered eating, amenorrhoea and osteoporosis. *Sports Medicine*. 1998;26:63-71.
- 109.Roupas ND, Georgopoulos NA. Menstrual function in sports. *Hormones*. 2011;10(2):104-16.

110. Kusuma WME. Hubungan Manarche, Kebiasaan Olahraga, Dan Lama Menstruasi Dengan Kejadian Dismenore Primer Pada Remaja Putri Kelas X Di Sman 1 Sindangbarang Kabupaten Cianjur: The Relationship Between Menarche, Sports Habit and Menstrual Length with the Incidence of Primary Dysmenorrhea in Class X Adolescent Girls at Sman 1 Sindangbarang, Cianjur Regency. Indonesian Scholar Journal of Nursing and Midwifery Science (ISJNMS). 2025;4(06).
111. Benson JE, Engelbert-Fenton KA, Eisenman PA. Nutritional aspects of amenorrhea in the female athlete triad. International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism. 1996;6(2):134-45.
112. Dueck CA, Matt KS, Manore MM, Skinner JS. Treatment of athletic amenorrhea with a diet and training intervention program. International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism. 1996;6(1):24-40.
113. Firdausi AQ. Hubungan intensitas olahraga dengan keteraturan siklus haid mahasiswi di Unit Olahraga (UNIOR) cabang bola basket Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim; 2024.
114. ASAR RB. BÖLÜM IV. Jinekolojide Pratik Bilgiler. 2020:57.
115. Güney E, Ünver H, Derya YA, Uçar T. Fiziksel egzersiz düzeylerinin menstrual siklusu etkileri. Düzce Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi. 2017;7(3):137-42.
116. Karacabey K, Özmerdivenli R. Sağlıklı Yaşam ve Spor. 1. İstanbul, Bedray Yayınları, s. 2011:1-472.

- 117.Ercan S. Kadın Sporcu Üçlemesine Güncel Yaklaşım. Kocaeli Tıp Dergisi. 2017;6(2):75-9.
- 118.Ackerman KE, Misra M. Bone health and the female athlete triad in adolescent athletes. The Physician and sportsmedicine. 2011;39(1):131-41.
- 119.Laframboise MA, Borody C, Stern P. The female athlete triad: a case series and narrative overview. The Journal of the Canadian Chiropractic Association. 2013;57(4):316.
- 120.Yılgin A, Konokman GB. Kadın Sporcularda Beslenme ve Kadın Sporcu Üçlemesi. Ulusal Kinesyoloji Dergisi. 2023;4(1):29-37.
- 121.Stevenson J, Lees B, Devenport M, Cust M, Ganger K. Determinants of bone density in normal women: risk factors for future osteoporosis? British Medical Journal. 1989;298(6678):924-8.
- 122.Guyton AC. Text book of medical physiology: China; 2006.
- 123.Hincapié CA, Cassidy JD. Disordered eating, menstrual disturbances, and low bone mineral density in dancers: a systematic review. Archives of physical medicine and rehabilitation. 2010;91(11):1777-89. e1.
- 124.Márquez S, Molinero O. Energy availability, menstrual dysfunction and bone health in sports; an overview of the female athlete triad. Nutricion hospitalaria. 2013;28(4):1010-7.
- 125.Buenzli PR, Thomas CDL, Clement JG, Pivonka P. Endocortical bone loss in osteoporosis: the role of bone surface availability. International journal for numerical methods in biomedical engineering. 2013;29(12):1307-22.

- 126.Pinheiro MB, Oliveira J, Bauman A, Fairhall N, Kwok W, Sherrington C. Evidence on physical activity and osteoporosis prevention for people aged 65+ years: a systematic review to inform the WHO guidelines on physical activity and sedentary behaviour. International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity. 2020;17:1-53.
- 127.Smith EL, RAAB DM. Osteoporosis and physical activity. Acta Medica Scandinavica. 1986;220(S711):149-56.
- 128.Scofield KL, Hecht S. Bone health in endurance athletes: runners, cyclists, and swimmers. Current sports medicine reports. 2012;11(6):328-34.
- 129.Wilson DJ. Osteoporosis and sport. European journal of radiology. 2019;110:169-74.

TROPONİN VE EGZERSİZ

Sercan ÖNCEN¹

1. GİRİŞ

Bu kitap bölümü, kardiyak troponinlerin egzersiz fizyolojisi bağlamındaki rolünü ele alarak, egzersiz sonrası troponin seviyelerindeki değişimlerin nedenlerini ve mekanizmalarını incelemektedir. Kardiyak troponinler, miyokard enfarktüsünün teşhisinde yaygın olarak kullanılan biyobelirteçlerdir, ancak yoğun fiziksel aktivite sonrasında da yükselme gösterebilirler. Bu durum, sporcuların kardiyovasküler sağlığını değerlendirirken dikkat edilmesi gereken önemli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bölümde, mevcut literatürce tanımlanmış farklı egzersiz türlerinin troponin seviyeleri üzerindeki etkileri ele alınmaktadır. Maraton gibi uzun süreli, yüksek yoğunluklu egzersizlerin yanı sıra 30 dakikalık aerobik temelli koşular veya hentbol, basketbol gibi kısa süreli ve aralıklı egzersizlerin de troponin seviyelerinde artışa neden olabileceği vurgulanmaktadır. Ancak, bu artışın mekanizması konusunda literatürde tartışmalar devam etmektedir. Yaş, cinsiyet, egzersiz geçmişi, egzersiz yoğunluğu, kan örnekleme zamanlaması ve kullanılan troponin tahlili gibi bir çok faktörün sonuçlar üzerinde etkisi olduğu değerlendirilmektedir.

Ayrıca, egzersiz sonrası troponin salınımının olası mekanizmaları üzerinde durulmaktadır. Mevcut veriler, egzersiz sonrası troponin salınımının fizyolojik bir adaptasyon olduğuna

¹ Doç. Dr., Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, Antrenörlük Eğitimi Bölümü, soncen@nku.edu.tr, ORCID: 0000-0001-6147-2966.

işaret etmekte ve bu biyobelirteçlerin sporcularda yorumlanmasının dikkatle ele alınması gerektiğini göstermektedir.

2. TROPONİN KOMPLEKSİ VE KAS KASILMASININ DÜZENLENMESİ

Troponin, tropomiyozin proteinine bağlıdır ve kas dokusundaki aktin filamanları arasındaki oluk içinde yer alır. Gevşemiş bir kasta, tropomiyozin miyozin çapraz köprüsü için bağlanma bölgesini bloke ederek kasılmayı önler. Kas hücresi bir aksiyon potansiyeli ile kasılmak için uyarıldığında, sarkoplazmik zardaki kalsiyum kanalları açılır ve sarkoplazmaya kalsiyum salınır. Kalsiyumun bir kısmı troponine bağlanır, bu da troponinin şekil değiştirmesine neden olarak aktin filamentlerindeki miyozin bağlanma bölgelerini açığa çıkarır. Miyozinin aktine bağlanması, çapraz köprü oluşumuna yol açarak kas kasılmasını başlatır.

Troponin hem iskelet kasında hem de kalp kasında bulunur, ancak troponinin özgül türevleri kas türleri arasında farklılık gösterir. En belirgin fark, iskelet kasındaki troponinin TnC alt biriminin dört kalsiyum iyonu bağlanma bölgesine sahipken, kardiyak kasta bu bölgenin yalnızca üç tane olmasıdır. Troponine bağlanan kesin kalsiyum miktarı tam olarak belirlenememiştir.

Tropomiyozinin, Bailey tarafından 1946 yılında tanımlanan (Bailey, 1946) ve kas kasılmasında önemli bir rol oynayan tropomiyozin ile birlikte, kas kasılmasının düzenlenmesinde rol oynayan bir diğer bileşen olan troponin ile ilişkili olduğu gösterilmiştir. Troponin kompleksi, kas kasılmasının düzenlenmesinde merkezi bir rol oynar. Troponin ve türevleri karmaşık bir yapıya sahiptir. Troponinin üç ana bileşeni; Troponin C, Troponin I ve Troponin T olarak tanımlanmıştır (Leavis & Gergely, 1984; Perry, 1979).

Her bir bileşen, kas kasılmasının düzenlenmesinde farklı işlevlere sahiptir:

Troponin C: Kalsiyum iyonlarını (Ca^{2+}) bağlar ve bu bağlanma, kas kasılmasının başlatılmasını sağlar.

Troponin I: Aktomiyozin ATPaz aktivitesini inhibe ederek, kasın kasılmasını engeller.

Troponin T: Troponin kompleksinin tropomiyozine bağlanmasını sağlar, böylece kompleksin yapısal bütünlüğünü ve fonksiyonel etkinliğini korur.

Başlangıçta, troponin tek tip bir protein olarak kabul edilmiştir. Ancak, Hartshorne ve Mueller'in (1958) çalışmaları, troponinin iki bileşene ayrılabilmesini ortaya koymuştur. Bu bileşenler Troponin A ve Troponin B olarak tanımlanmış ve kas kasılmasının düzenlenmesinde her birinin farklı fonksiyonları olduğu belirlenmiştir. Troponin bu fonksiyonları iki ana bileşen, "kalsiyum duyarlı faktör" ve "inhibitör faktör" olarak sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırmaya göre, Troponin A, kalsiyum iyonlarının bağlanmasını artırırken, Troponin B, kas kasılmasını inhibe eden bir işlevi yerine getirmektedir.

Kas kasılmasının biyokimyasal temellerine dair yapılan araştırmalar, tropomiyozin ve troponin gibi protein komplekslerinin kas fonksiyonları üzerindeki etkilerini daha derinlemesine anlamamıza olanak tanımaktadır. Son yıllarda, kardiyο-spesifik troponinler, miyokard enfarktüslerinin (MI) teşhisinde tercih edilen biyomarkerler haline gelmiştir. Kardiyak troponin T (cTnT) ve troponin I (cTnI), yalnızca kardiyomiyositlerde bulunur, bu nedenle dolaşımdaki yüksek seviyeler, miyokard hasarını veya enfarktüsünü işaret edebilir (Tehrani ve Seto, 2013).

Güncel literatürde cTn yüksekliğinin sadece miyokardiyal hasara özgü olmayıp, başka birçok durumda da sıkça

görüldüğünü ortaya konulmaktadır. Bu durum egzersizin kardiyovasküler sağlık üzerine olan olumlu etkilerinin tersine negatif bir etkiye sahip olduğu düşüncesine sebebiyet vermektedir. Burada iki ana soruya odaklanmaktadır;

1) Egzersiz, kardiyak troponin seviyelerinin yükselmesine yol açar mı?

2) cTn'nin egzersize bağlı yükselmesi fizyolojik bir durum mudur yoksa patolojik midir?

Bu sorulara yanıt olarak güncel literatürde sürekli egzersizler dâhil olmak üzere birçok başka çalışmada da egzersiz sonrası troponin yüksekliği rapor edilmiştir (Gresslien ve Agewall, 2016). Ancak, çoğu çalışmada tüm deneklerde pozitif örnekler bulunmamakta ve bu durum, egzersize yanıt olarak görülen cTn yükselmesinin mekanizmasını anlamayı zorlaştırmaktadır.

3. EGZERSİZ SONRASI KARDİYAK TROPONİN YÜKSELMESİ

Egzersiz, kardiyovasküler sistem üzerinde çeşitli fizyolojik etkiler yaratırken, bu etkilerin biyokimyasal belirteçler üzerindeki yansımaları bilimsel araştırmaların ilgi odağı olmuştur. Özellikle kardiyak troponin (cTn) seviyelerinin egzersiz sonrası yükselmesi, spor fizyolojisi ve kardiyoloji alanlarında önemli bir araştırma konusu olarak karşımıza çıkmaktadır. Yapılan çalışmalarda, uzun süreli dayanıklılık egzersizlerinin yanı sıra kısa süreli yoğun aktivitelerin de cTn seviyelerinde artışa neden olabildiği gösterilmiştir.

2002 Boston Maratonu'nda yapılan geniş ölçekli bir çalışmada, katılımcıların %68'inde yarış sonrası troponin seviyelerinde anlamlı bir yükselme tespit edilmiştir. Benzer şekilde, yalnızca 30 dakikalık bir koşu bandı egzersizi veya takım

sporları (basketbol, futbol) gibi aktivitelerin de troponin seviyelerini etkileyebildiği rapor edilmiştir. Hatta düşük yoğunluklu fiziksel aktiviteler, örneğin masa tenisi oynama gibi sporların dahi çocuklarda troponin seviyelerini artırabildiği bildirilmiştir. Ancak, mevcut veriler tüm bireylerde egzersize bağlı cTn artışının aynı oranda gözlemlenmediğini ortaya koymaktadır. Bu durum, troponin yükselmesinin altında yatan mekanizmaların daha iyi anlaşılmasını gerektirmektedir.

Egzersiz sonrası troponin artışının miyokardiyal hücre ölümüyle mi yoksa geri dönüşümlü hücresel değişimlerle mi ilişkili olduğu, henüz netlik kazanmamış bir konudur. Bu bağlamda, troponin yükselmesine yol açan mekanizmaların belirlenmesi ve bunun klinik anlamının açıklığa kavuşturulması büyük önem taşımaktadır. Bu bölüm, egzersiz sonrası troponin seviyelerindeki değişimleri ele alarak, alandaki güncel literatürü derlemeyi ve bu biyomarkerin fizyolojik ve patolojik bağlamda nasıl yorumlanması gerektiğini tartışmayı amaçlamaktadır.

3.1. Dayanıklılık Egzersizleri ve Troponin Yükselmesi

Dayanıklılık egzersizlerinin kardiyak troponin (cTn) seviyeleri üzerindeki etkileri kapsamlı bir şekilde değerlendirildiğinde, özellikle uzun süreli ve yüksek yoğunluklu fiziksel aktiviteler, miyokardiyal hücrelerde minimal düzeyde hasara neden olabilmekte ve bu durum, egzersiz sonrası cTn seviyelerinde artış olarak gözlemlenmektedir. Literatürde, maraton, triatlon, bisiklet yarışları ve ultramaraton gibi farklı dayanıklılık egzersizleri bağlamında troponin yanıtının değerlendirildiği çalışmalar incelenmiştir.

Maraton koşucuları üzerine yapılan araştırmalar, özellikle Boston, Berlin ve Londra gibi büyük maraton etkinliklerine katılan atletlerde cTn seviyelerinin yarış sonrası belirgin şekilde yükseldiğini göstermektedir (Fortescue vd., 2007; Gresslien ve Agewall, 2016) Çalışmalar, özellikle bu yükselmenin farklı analiz

yöntemleri ve ölçüm tekniklerine bağlı olarak değişkenlik gösterebileceğini ortaya koymuştur. Troponin ölçüm testi hassasiyeti yükseldikçe katılımcıların troponin referans değerlerinin üzerinde seviyeler tespit edilmiştir. Berlin maratonunda katılımcıların üst referans sınırının üzerindeki %38'inden, farklı yüksek değerlerde bulunmakta olan %94'üne kadar değişen oranlarda troponin yüksekliği bildirmiştir (Saravia vd., 2010). 2002-2006, 2007-2008 ve 2009 yıllarına ait farklı ölçüm zamanları ve ölçüm yöntemleri içerisinde değişkenlikler barındıran maratonlarda sırası %38, bir koşucu hariç tüm koşucularda ve %20 oranlar karşımıza çıkmaktadır (George vd., 2004; Wilson vd., 2011; Baker vd., 2014). Troponin ve maraton koşusu çalışmalarının çoğu, deneklerin farklı artış seviyelerin meydana geldiği tanımlamalar mevcuttur.

Dayanıklılık egzersizlerinin bir diğer önemli bileşeni olan bisiklet yarışlarında, amatör ve profesyonel bisikletçilerin karşılaştırıldığı çalışmalarda, amatör sporcularda cTn yükselmesinin daha belirgin olduğu rapor edilmiştir (Gresslien ve Agewall, 2016). Giro d'Italia ve Fransa Bisiklet Turu gibi uzun süreli bisiklet yarışlarında yapılan değerlendirmeler, bazı katılımcılarda cTn seviyelerinin yükseldiğini, ancak profesyonel bisikletçilerde bu artışın daha sınırlı olduğunu göstermektedir (Williams vd., 2009; Corsetti vd., 2012).

Ultramaraton yarışmaları, 42,2 kilometrenin üzerinde mesafeleri kapsayan ve uzun süreli efor gerektiren dayanıklılık egzersizleridir. Maraton koşularına kıyasla ultramaratonlarda cTn seviyelerinin genellikle daha düşük oranlarda arttığı, ancak bireysel fizyolojik yanıtlar doğrultusunda bu değişkenliğin geniş bir yelpazeye yayıldığı rapor edilmiştir (Gresslien ve Agewall, 2016). Çeşitli ultramaraton etkinliklerinde, katılımcıların %0 ile %100'ü arasında değişen oranlarda cTn yükselmesi bildirilmiş, ancak bazı çalışmalarda geleneksel yöntemlerle yapılan ölçümlerde troponin artışı tespit edilmezken, yüksek hassasiyetli

analizlerle yapılan yeniden değerlendirmelerde %40 ve katılımcıların hepsini kapsayan önemli oranda artışlar gözlemlenmiştir (Giannitsis vd., 2009; Lippi vd., 2012).

Triatlon, yüzme, bisiklet ve koşu gibi üç farklı dayanıklılık egzersizinin birleşiminden oluşan, yüksek efor gerektiren bir spor dalıdır. Yapılan çalışmalar, triatlon sonrası katılımcıların önemli bir kısmında cTn seviyelerinin arttığını göstermektedir (Cleave vd., 2001). Özellikle Ironman gibi uzun mesafeli triatlon yarışlarında yapılan incelemeler, yarış sonrası cTn seviyelerinde anlamlı yükselmeler olduğunu ve bu artışın yarış süresi, antrenman düzeyi ve bireysel fizyolojik değişkenliklere bağlı olarak değiştiğini ortaya koymuştur (Gresslien ve Agewall, 2016).

Bu bulgular, dayanıklılık egzersizlerinin miyokardiyal biyobelirteçler üzerindeki etkilerini anlamada önemli veriler sağlamaktadır. Egzersize bağlı cTn yükselmesi, miyokardiyal stres ve membran geçirgenliğinde geçici değişikliklerle açıklanabilmekte olup, klinik olarak anlamlı bir miyokardiyal hasarın göstergesi olarak değerlendirilmesi üzerine çalışmalar devam etmektedir. Ancak, uzun süreli ve yüksek yoğunluklu egzersizler sonrası kronik troponin yükselmesi olan bireylerde kardiyovasküler risklerin detaylı bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir.

3.2. Kuvvet Egzersizleri ve Anaerobik Egzersizler

Egzersiz sonrası kardiyak troponin (cTn) yükselmesi, egzersizin süresi, yoğunluğu ve bireysel faktörlere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Kısa mesafeli ve düşük yoğunluklu egzersizlerde cTn de bir artış tespit edilmez iken kısa mesafeli ve yoğun egzersizlerde cTn seviyeleri üzerinde artış meydana getirecek bir etkiye sahip olduğu belirtilmektedir. Yapılan değerlendirmelerde 30 dakikalık yoğun koşu sonrasında genç erkeklerin çoğunda TnI seviyelerinin yükseldiği (Shave vd.,

2010), 45 dakikalık koşu sonrasında ergenlerde cTnT artışı gözlemlendiği (Nie vd., 2011) ve 1 saatlik spinning egzersizinin cTn seviyelerinde değişikliğe neden olduğu bildirilmiştir (Duttaroy vd., 2012). Test yöntemlerinin hassasiyetleri verilerinde değerlendirilmesinde önemli rol oynadığı bir gerçektir. Yüksek hassasiyetli test yöntemi olarak gerçekleşen yüksek yoğunluklu kademeli bisiklet testi uygulanan orta yaşlı hastane çalışanlarının %47'sinde cTn artışı tespit etmiştir.

Bireysel ve takım sporları açısından yapılan incelemeler de benzer sonuçlar ortaya koymaktadır. Futbol, rugby, floorball, halter, masa tenisi ve basketbol gibi farklı spor dalları ele alınmış, bu sporlar sonrası cTn seviyelerinin yükseldiği tespit edilmiştir. Ancak bazı çalışmalarda anlamlı bir değişim gözlenmemiştir. Genel olarak, egzersizin süresi ve yoğunluğu arttıkça cTn yükselme oranının da arttığı görülmekte, ancak bireysel fizyolojik değişkenler bu yanıtın farklılaşmasına neden olmaktadır (Tjora vd., 2011).

4. EGZERSİZLE İNDÜKLENEN TROPONİN SALINIM MEKANİZMALARI

Egzersiz sonrası kardiyak troponin (cTn) yükselmesi, son yıllarda önemli araştırma konularından birisi haline gelmiştir. Egzersiz sonrası kardiyak troponin (cTn) yükselmesi, hem kısa hem de uzun süreli fiziksel aktivitelerden sonra birçok bireyde gözlemlenmiştir. Bu fenomenin fizyolojik olduğu ve miyokardiyal hasar ile doğrudan ilişkili olmadığı düşünülmektedir (Dávila-Román vd., 1997; Neilan vd., 2006). En yaygın açıklamalardan biri, cTn'nin kardiyomiyositlerin sitozolik havuzundan dolaşıma sızmasıdır. Troponin kompleksinin bir parçası olan cTnT ve cTnI'nin küçük bir kısmı sitozolik olarak serbest formda bulunur ve egzersiz sonrası hızla yükselip 24-48 saat içinde normale dönen troponin seviyeleri, hücre nekrozu

yerine bu sitozolik salınım teorisini desteklemektedir (Scharhag vd., 2008).

Egzersiz sırasında reaktif oksijen türleri (ROS) üretiminin artışı ve hipoksi gibi faktörler, membran bütünlüğünün bozulmasına ve troponin sızıntısına katkıda bulunabilir. Bu mekanizma, özellikle gelişmemiş antioksidan sistemlere sahip ergen bireylerde daha belirgin olabilir. Alternatif olarak, hücre içi Ca^{2+} sinyallemesi, pH değişiklikleri ve integrin aracılı mekanizmalar da troponin salınımında rol oynayabilir (Shave, 2004)

4.1. Sitozolik Troponin Kaçış Hipotezi

Egzersiz sonrası troponin artışının en yaygın açıklamalarından biri, hücrel hasar olmaksızın sitozolik havuzdan bir sızıntının gerçekleşmesidir. Sitozolik cTnI ve cTnT'nin düşük mutlak seviyeleri ve egzersiz sonrası hızlı normalleşme eğilimi, bu mekanizmayı destekler niteliktedir. Miyokard enfarktüsünde gözlenen bifazik troponin artışı, ilk aşamada sitozolik kaçışı ve sonrasında kasılma aparatının yıkımını yansıtırken, egzersiz sonrası troponin kinetiği daha kısa süreli olup genellikle 6 saat içinde zirve yapıp 24-48 saat içinde bazal seviyelere döner. Eğitimli bireylerde daha büyük bir kasılma aparatı ve sitozolik rezervuarın olması, bu grupta troponin düzeylerinin daha yüksek ölçülmesini açıklayabilir (Lippi vd., 2004; Löwbeer vd., 2007).

4.2. Membran Geçirgenliği ve Oksidatif Stres Hipotezi

Yoğun fiziksel aktivite, özellikle hipoksik koşullarda gerçekleştirildiğinde, reaktif oksijen türleri (ROS) üretimini artırarak hücrel membran bütünlüğünü bozabilir. ROS kaynaklı lipid peroksidasyonu, kardiyomiyositlerin geçirgenliğini artırarak troponin sızıntısına neden olabilir. Egzersiz sonrası troponin yükselmesinin ergenlerde daha belirgin olması, olgunlaşmamış antioksidan sistemlerinin daha fazla oksidatif strese maruz

kalmasıyla ilişkilendirilmiştir. Ancak, bazı çalışmalar troponin ile lipid peroksidasyon belirteçleri arasında doğrudan bir korelasyon olmadığını bildirmiştir (Eijsvogels vd., 2010; Lippi vd., 2012). Alternatif olarak, membran geçirgenliğindeki değişimlerin hücre içi kalsiyum (Ca^{2+}) sinyalleşmesi, metabolik süreçler veya pH değişiklikleriyle ilişkili olabileceği düşünülmektedir.

4.3. Mekanik Gerilim ve Hücresel İskelet İlişkisi

Egzersiz sırasında kardiyomiyositler, tekrarlayan kasılmalara bağlı olarak mekanik stres altına girer. Hücresel iskelet ile membran arasında görev yapan integrinler, bu süreçte önemli rol oynar. Kalp kasının gerilmesiyle birlikte integrinler aracılığıyla hücresel sinyalizasyon değişebilir ve bu da troponin salınımına katkıda bulunabilir.

4.4. Kardiyak Stres ve Katekolamin Yanıtı

Egzersiz sırasında sempatik sinir sistemi aktivasyonu artar ve yüksek katekolamin seviyeleri gözlenir. Artan kardiyak debi ve kasılma gücü, miyokard üzerindeki iş yükünü artırarak troponin salınımına neden olabilir. Maraton koşucularında kardiyak troponin artışı ile kalp yorgunluğu arasında ilişki olduğu bildirilmiştir. Bununla birlikte, otonomik ton değişiklikleri ve beta-adrenerjik reseptörlerin aşağı regülasyonu da troponin seviyelerini etkileyebilir (Shave, 2004; Cleave vd., 2001).

Egzersizle ilişkili troponin yükselmesinin patolojik bir süreci mi yoksa fizyolojik bir adaptasyonu mu temsil ettiği konusunda net bir görüş birliği bulunmamaktadır. Daha önceki çalışmalar, troponin artışını sıklıkla miyokardiyal hasar ile ilişkilendirmiştir. Ancak, egzersiz sonrası troponin yükselmesi olan bireylerde yapılan kardiyak manyetik rezonans (MR) görüntülemeleri ve ekokardiyografi incelemeleri, genellikle miyokard hasarına dair kesin bulgular ortaya koymamaktadır (Shave, 2004).

Öte yandan, maraton ve ultramaraton koşucularında fokal miyokardiyal fibrozis gözlemlenmesi, kronik dayanıklılık egzersizlerinin uzun vadeli etkileri hakkında soru işaretleri yaratmaktadır. Yaşlı atletlerde daha yüksek oranda kardiyak ritim bozuklukları görülmesi, tekrarlayan egzersizin uzun dönemde olumsuz etkiler yaratabileceğini düşündürmektedir.

4.5. Egzersizle İndüklenen Troponin Artışını Etkileyen Faktörler

Egzersiz Süresi ve Şiddeti: Daha uzun ve yoğun egzersizler daha yüksek troponin artışına neden olabilir.

Bireysel Farklılıklar: Eğitim düzeyi, yaş ve kardiyovasküler durum troponin kinetiğini etkileyebilir.

Egzersiz Türü: Dayanıklılık egzersizleri, direnç egzersizlerine kıyasla daha belirgin troponin artışı ile ilişkilendirilmiştir.

Otonom Sinir Sistemi Aktivitesi: Egzersiz sonrası vagal tonusta azalma, troponin seviyeleri ile ilişkili bulunmuştur.

5. SONUÇ

Egzersiz sonrası troponin yükselmesi çok sayıda çalışmada gözlemlenmiş olsa da, bunun fizyolojik mi yoksa patolojik bir süreç mi olduğu halen tam olarak anlaşılamamıştır. Mevcut veriler, çoğu durumda sitozolik sızıntı ve membran geçirgenliği artışı gibi mekanizmaların troponin artışına neden olduğunu desteklemektedir. Bununla birlikte, uzun vadeli dayanıklılık egzersizlerinin miyokardiyal fibrozis ve ritim bozuklukları üzerindeki etkileri tam olarak bilinmemektedir.

Fiziksel efor, kardiyak troponin seviyelerinde yükselmeye neden olabilir ve bu durumun, miyokardiyal enfarktüs şüphesiyle değerlendirilen hastalarda dikkatle ele alınması gerekmektedir.

Çeşitli çalışmalar, egzersiz sonrası troponin seviyelerinin farklı faktörlerden etkilendiğini göstermiştir. Bu faktörler arasında egzersizin yoğunluğu, bireyin yaşı, egzersiz deneyimi, örnekleme zamanı ve kullanılan biyokimyasal analiz yöntemi öne çıkmaktadır.

Bireylerde gözlenen yüksek oranlı troponin artışı, düşük mutlak seviyeler ve hızlı normalleşme eğilimi, miyokardiyal nekroza işaret eden bir süreçten ziyade, sitozolik rezervuardan kaynaklanan fizyolojik bir yanıt olarak değerlendirilmektedir. Buna rağmen, bu fizyolojik salınım hangi mekanizmaların aracılık ettiği henüz tam olarak açıklığa kavuşturulamamıştır. Gelecekte yapılacak araştırmalar, egzersizle ilişkili troponin artışının mekanizmasını daha iyi anlamaya yönelik olacaktır.

Gelecekte yapılacak çalışmalar, egzersize bağlı troponin artışının farklı bireylerde nasıl değiştiğini daha iyi anlamaya ve bu fenomenin klinik sonuçlarını netleştirmeye odaklanmalıdır. Ayrıca, bireysel risk faktörleri ve egzersiz programlarının kardiyak sağlık üzerindeki etkileri daha ayrıntılı incelenmelidir.

KAYNAKÇA

- Bailey, K. (1946). Tropomyosin: a new asymmetric protein component of muscle. *Nature*, 157(3986), 368-369
- Baker, P., Davies, S. L., Larkin, J., Moulton, D., Benton, S., Roberts, A., & Harris, T. (2014). Changes to the cardiac biomarkers of non-elite athletes completing the 2009 London Marathon. *Emergency Medicine Journal*, 31(5), 374-379.
- Cleave, P., Boswell, T. D., Speedy, D. B., & Boswell, D. R. (2001). Plasma cardiac troponin concentrations after extreme exercise. *Clinical chemistry*, 47(3), 608-610.
- Cleave, P., Boswell, T. D., Speedy, D. B., & Boswell, D. R. (2001). Plasma cardiac troponin concentrations after extreme exercise. *Clinical chemistry*, 47(3), 608-610.
- Corsetti, R., Lombardi, G., Barassi, A., Lanteri, P., Colombini, A., D'Eril, G. M., & Banfi, G. (2012). Cardiac indexes, cardiac damage biomarkers and energy expenditure in professional cyclists during the Giro d'Italia 3-weeks stage race. *Biochemia Medica*, 22(2), 237-246.
- Dávila-Román, V. G., Guest, T. M., Tuteur, P. G., Rowe, W. J., Ladenson, J. H., & Jaffe, A. S. (1997). Transient right but not left ventricular dysfunction after strenuous exercise at high altitude. *Journal of the American College of Cardiology*, 30(2), 468-473.
- Duttaroy, S., Thorell, D., Karlsson, L., & Börjesson, M. (2012). A single-bout of one-hour spinning exercise increases troponin T in healthy subjects. *Scandinavian cardiovascular journal*, 46(1), 2-6.
- Ebashi, S., Kodama, A., & Ebashi, F. (1968). Troponin: 1. Preparation and physiological function. *The Journal of Biochemistry*, 64(4), 465-477.

- Eijsvogels, T., George, K., Shave, R., Gaze, D., Levine, B. D., Hopman, M. T., & Thijssen, D. H. (2010). Effect of prolonged walking on cardiac troponin levels. *The American journal of cardiology*, 105(2), 267-272.
- Fortescue, E. B., Shin, A. Y., Greenes, D. S., Mannix, R. C., Agarwal, S., Feldman, B. J., ... & Almond, C. S. (2007). Cardiac troponin increases among runners in the Boston Marathon. *Annals of emergency medicine*, 49(2), 137-143.
- George, K., Whyte, G., Stephenson, C., Shave, R., Dawson, E., Edwards, B. E. N., ... & Collinson, P. (2004). Postexercise left ventricular function and cTnT in recreational marathon runners. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(10), 1709-1715.
- Giannitsis, E., Roth, H. J., Leithäuser, R. M., Scherhag, J., Beneke, R., & Katus, H. A. (2009). New highly sensitivity assay used to measure cardiac troponin T concentration changes during a continuous 216-km marathon. *Clinical chemistry*, 55(3), 590-592.
- Gresslien, T., & Agewall, S. (2016). Troponin and exercise. *International journal of cardiology*, 221, 609-621.
- Gresslien, T., & Agewall, S. (2016). Troponin and exercise. *International journal of cardiology*, 221, 609-621.
- Hartshorne, D. J., & Mueller, H. (1968). Fractionation of troponin into two distinct proteins. *Biochemical and biophysical research communications*, 31(5), 647-653.
- J. Nie, K.P. George, T.K. Tong, Y. Tian, Q. Shi, Effect of repeated endurance runs on cardiac biomarkers and

- function in adolescents, *Med. Sci. Sports Exerc.* 43 (11) (2011) 2081–2088.
- K. Williams, W. Gregson, C. Robertson, N. Datson, G. Whyte, C. Murrell, et al., Alterations in left ventricular function and cardiac biomarkers as a consequence of repetitive endurance cycling, *Eur. J. Sport Sci.* 9 (2) (2009) 97–105.
- Leavis, P. C., Gergely, J., & Szent-Gyorgyi, A. G. (1984). Thin Filament Proteins and Thin Filament-Linked Regulation of Vertebrate Muscle Contractio. *Critical Reviews in Biochemistry*, 16(3), 235-305.
- Lippi, G., Impellizzeri, F., Salvagno, G. L., Mion, M., Zaninotto, M., Cervellin, G., ... & Plebani, M. (2010). Kinetics of highly sensitive troponin I and T after eccentric exercise. *Clinical chemistry and laboratory medicine*, 48(11), 1677-1679.
- Lippi, G., Schena, F., Salvagno, G. L., Tarperi, C., Aloe, R., & Guidi, G. C. (2012). Comparison of conventional and highly-sensitive troponin I measurement in ultra-marathon runners. *Journal of thrombosis and thrombolysis*, 33, 338-342.
- Lippi, G., Schena, F., Salvagno, G. L., Tarperi, C., Aloe, R., & Guidi, G. C. (2012). Comparison of conventional and highly-sensitive troponin I measurement in ultra-marathon runners. *Journal of thrombosis and thrombolysis*, 33, 338-342.
- Löwbeer, C., Seeberger, A., Gustafsson, S. A., Bouvier, F., & Hulting, J. (2007). Serum cardiac troponin T, troponin I, plasma BNP and left ventricular mass index in professional football players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 10(5), 291-296.

- Neilan, T. G., Januzzi, J. L., Lee-Lewandrowski, E., Ton-Nu, T. T., Yoerger, D. M., Jassal, D. S., ... & Wood, M. J. (2006). Myocardial injury and ventricular dysfunction related to training levels among nonelite participants in the Boston marathon. *Circulation*, 114(22), 2325-2333.
- Perry, S. V. (1979). The regulation of contractile activity in muscle. *Biochem Soc Trans* (1979) 7 (4): 593–617.
- Saravia, S. G., Knebel, F., Schroeckh, S., Ziebig, R., Lun, A., Weimann, A., ... & Schimke, I. (2010). Cardiac troponin T release and inflammation demonstrated in marathon runners. *Clinical laboratory*, 56(1-2), 51-58.
- Scharhag, J., George, K., Shave, R., Urhausen, A., & Kindermann, W. (2008). Exercise-associated increases in cardiac biomarkers. *Medicine and science in sports and exercise*, 40(8), 1408-1415.
- Shave, R. (2004). Altered cardiac function and minimal cardiac damage during prolonged exercise, *Med. Sci. Sports Exerc.* 36(7) 1098–1103.
- Shave, R., Ross, P., Low, D., George, K., & Gaze, D. (2010). Cardiac troponin I is released following high-intensity short-duration exercise in healthy humans. *International journal of cardiology*, 145(2), 337-339.
- Tehrani, D. M., & Seto, A. H. (2013). Third universal definition of myocardial infarction: update, caveats, differential diagnoses. *Cleve Clin J Med*, 80(12), 777-786.
- Tjora, S., Gjestland, H., Mordal, S., & Agewall, S. (2011). Troponin rise in healthy subjects during exercise test. *International journal of cardiology*, 151(3), 375-376.
- Wilson, M., O'Hanlon, R., Prasad, S., Oxborough, D., Godfrey, R., Alpendurada, F., ... & Whyte, G. (2011). Biological markers of cardiac damage are not related to measures of

cardiac systolic and diastolic function using cardiovascular magnetic resonance and echocardiography after an acute bout of prolonged endurance exercise. British journal of sports medicine, 45(10), 780-784.

HAREKET VE ANTRENMAN BİLİMLERİ KONULARI

yaz
yayınları

YAZ Yayınları

M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3

İscehisar / AFYONKARAHİSAR

Tel : (0 531) 880 92 99

yazyayinlari@gmail.com • www.yazyayinlari.com