

ATLETLERDE KAS LİFİNİN ANTRENMAN GEÇMİŞİ VE CİNSİYET FARKLILIĞI İLE İLİŞKİLİ KANTİTATİF HİSTOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Hakan GÜR*, Lars LARSSON**

ÖZET

22 erkek ve 8 bayan kısa- (KMA), orta- (OMA) ve uzun mesafe koşucusunun (UMA) vastus lateralis kaslarından biyopsi alındı. Kas örneklerinin kesitleri miyofibriller ATPase (mATPase), kalsiyumla uyarılan miyofibriller ATPase (Ca²⁺-mATPase), süksinil dehidrogenaz (SDH) ve PAS boyası ile boyandı. Kas örneklerinde SDH ve Ca²⁺-mATPase enzim aktivasyonlarının karşılaştırmalı mikrofotometrik ölçümleri (Zeis MPM) yapıldı. Enzimatik ölçümleri yapılan kas liflerinin kesit alanları ve kapiller yoğunlukları hesaplandı. Histokimyasal olarak belirlenen kas liflerinin Ca²⁺-mATPase ve SDH enzim aktivasyonlarının birbirine oranı (Ca²⁺-mATPase: SDH) aynı kas lifi tipi için KMA, OMA ve UMA denekler arasında farklılıklar gösterirken bu enzimlerin tek başına aritmetik ortalama değerleri KMA, OMA ve UMA denekler arasında farklılıklar göstermemektedir. Kas lifi tiplerinin Ca²⁺-mATPase: SDH oranlarının bu tiplerinin relatif alan değerleri ile düzeltilmiş ve kas örneğinin tamamı için ifade edilen değerleri (Metabolik İndeks Mi) ise üç grup arasında daha net farklılıklar göstermemektedir. Ayrıca bayan denekler tip I ve IIA kas lifleri için aynı grup erkek deneklerden daha yüksek SDH, tip IIA ve IIB lifleri için ise daha düşük Ca²⁺-mATPase: SDH oranına sahipti.

Sonuç olarak bu çalışmanın bulguları; 1) kas lifi ATP döngüsünün bir göstergesi olarak ifade edilen Ca²⁺-mATPase: SDH oranının sporcunun antrenman geç-

* Uludağ Üniv. Tıp Fak., Spor Hekimliği BD., Bursa

** Karolinska Hastanesi, Kl. Nörolofzyoloji Bölümü, Sthokolm, İsveç.

mişi ile ilişkili metabolik özelliklerini irdelemede iyi bir parametre olduğunu, 2) bütün kas liflerinin ölçüm sonuçlarını içinde barındıran Mİ değerinin antrenman geçmişine ile ilişkili iskelet kası metabolik özelliklerini belirlemede kas lifi için ifade edilen değerlerden daha değerli olduğunu, 3) kas lifinin kesitsel alanında olabilecek değişikliklerin bu çalışmada ölçülen enzimlerin aktivasyon düzeyleri üzerinde anlamlı değişikliklere yol açmadığı ve 5) benzer tipte antrenman geçmişine sahip olan erkek deneklerin aynı kas lifi tipi için bayan deneklerden daha düşük düzeyde SDH ve benzer düzeyde Ca^{2+} -mATPase enzim aktivasyonu değerlerine karşın daha yüksek Ca^{2+} -mATPase: SDH oranı değerlerine sahip olduklarını gösterdi.

Anahtar Kelimeler: Kalsiyumla uyarılan mATPase, süksinil dehidrogenaz, kas lif alanı, kapillerite, atlet.

QUANTITATIVE HISTOCHEMICAL PROPERTIES OF INDIVIDUAL MUSCLE FIBRE RELATED TO TRAINING BACKGROUND AND GENDER DIFFERENCES OF RUNNERS.

SUMMARY

Muscle biopsy samples were taken from the vastus lateralis muscle of 22 male and 8 female short- (SDR), middle- (MDR) and long-distance runners (LDR). Muscle crosssections were stained for the myofibrillar, ATPase, calcium-stimulated myofibrillar ATPase (Ca^{2+} -mATPase), succinate dehydrogenase (SDH) and ordinary PAS-stain. Comparative microphotometric measurements were performed for SDH and Ca^{2+} -mATPase enzyme activities using a microphotometer (Zeis MPM). The cross-sectional area and capillary density of fibers, which have been enzyme-histochemically measured, were calculated. The mean values of Ca^{2+} -mATPase and SDH enzyme activities in single fibres were similar between histochemically similar fibre types of SDR, MDR and LDR subjects whereas the ratio between Ca^{2+} -mATPase and SDH in similar fibres showed remarkable differences among the groups. When the mean values of the ratio for single fibre types were treated with relative areas of fibre types as a marker of whole muscle (metabolic index, MI), there was a net difference among the three groups of athletes. In addition, it was found that female athletes had a higher SDH and lower Ca^{2+} -mATPase: SDH ratio in type I, IIA and type IIA, IIB fibres, respectively, than their male counterparts.

In conclusion, the results of this study indicated that; 1) the ratio between Ca^{2+} -mATPase and SDH in single fibres as a marker of ATP turnover rate is a valuable indicator to determine the metabolic properties of individual fibre related to training background of athletes, 2) the MI value which involves the parameters of whole muscle sample can be better determinant than that of single fibre to express the metabolic properties of the muscle related to training background of athletes, 3) enlargement in fibre cross-sectional area has no significant change on the selected enzyme activities in the fibre and 4) male athletes have lower SDH and similar level Ca^{2+} -mATPase enzyme activities whereas they have higher rate of Ca^{2+} -mATPase: SDH ratio for histochemically similar fibre types compared to female counterparts, who had similar training backgrounds.

Key Words: *Calcium-stimulated mATPase, succinate dehydrogenase, fibre size, capillarity, runners.*

GİRİŞ

İğne biyopsisi tekniği ortaya konduktan sonra kalitatif ve kantitatif yöntemlerin kullanıldığı çalışma sonuçları ile antrenmanın iskelet kasının metabolik özellikleri üzerine olan etkilerinin çok geniş bir boyut içerdiği araştırmacılar tarafından ifade edilmiştir. Yapılan bu tür çalışmalar ile dayanıklılık atletlerinin bacak kaslarında baskın bir şekilde yavaş kasılan tip I kas lifi oran ve relatif alanına, sprinterlerin ise hızlı kasılma özelliğine sahip tip II kas lifi oran ve relatif alanına sahip oldukları, bu tür antrenmanların iskelet kasının oksidatif ve glikolitik özelliklerini geliştirdiği gösterilmiştir (8,21,22,24,45,47). Bununla birlikte dayanıklılık antrenmanı ile sadece tip I değil tip II kas liflerinin oksidatif kapasitesinde de artış sağlanabileceği (38), yapılan antrenmana bir yanıt olarak kas lif dağılımı cinsiyet farklılığı göstermezken kasın glikolitik (8,31) ve oksidatif (24) metabolizmasının cinsiyet farklılığı gösterdiği de değişik çalışma sonuçları ile ifade edilmiştir.

Yapılan bu çalışmalarda sıklıkla iskelet kasının metabolik özellikleri bütün kas liflerini içine alan kas örnekleri ile ölçülmüş tek kas lifinin antrenmana metabolik yanıtını içeren çalışmaların sayısı ise kısıtlı bir düzeyde kalmıştır. Bütün kas kitlesini içine alan ve değişik sürelerde yapılan egzersizlere iskelet kasının yanıtı araştıran çalışmalarda egzersizin süresinin artması ile ATP ya-

pımı, fosfokreatin (PCr) yıkımı ve glikolizisin azaldığı ifade edilirken (4,25), tek kas lifini içeren çalışmalarda kısa süreli maksimal diz egzersizlerini takiben ATP ve PCr miktarındaki bu düşüşten tip II liflerinden çok tip I liflerinde gözlenen değişikliklerin sorumlu olduğu ifade edilmiştir. (28, 45). Ayrıca yorgunluğa kadar yapılan 4-6 dakikalık şiddetli egzersizleri takiben tip II kas liflerinin glikojen miktarında, uzun süreli submaksimal egzersizleri takiben de tip I kas liflerinin glikojen miktarında belirgin düşüşler olduğu (17), istirahat ATP, PCr ve glikojen miktarının tip II kas liflerinde tip I liflerinden daha yüksek olduğu da çalışma sonuçları ile gösterilmiştir (41). Değişik frekansta kısa süreli elektriksel uyarı takiben PCr yıkılımı ve glikoneogenezis oranının tip II liflerinde tip I liflerinden daha büyük olduğu ve kasın ortaya koyduğu güçte gözlenen düşüşten tip II kas liflerinin PCr depolarındaki hızlı kaybın sorumlu olduğu da araştırmacılar tarafından vurgulanmıştır (41). Bütün bu çalışmaların sonuçları yapılan egzersizin tipi ile ilişkili olarak glikojen tüketiminin kas lif tipleri arasında farklılık gösterdiği ve kastaki yorgunluğun kas liflerindeki enerji üretim ile tüketimi arasındaki dengeyle yakından ilişkili olduğu izlenimi vermektedir.

Kas lifinin ürettiğinden daha fazla ATP tüketemeyeceği bir gerçektir. Enerji üretiminin bir göstergesi olarak kabul edilen kas lifinin süksinil dehidrogenaz (SDH) enzim aktivite düzeyinin yorgunluğa direnç ile ilişkisi olduğu ifadesine (32) karşın bazı araştırmacılar böyle bir ilişki olmadığı yolunda görüş ifade etmişlerdir (14,30). Kernel ve ark.'larının (30) iskelet kası liflerinin enerji metabolizmasını tarif etmede oksidatif yolla enerji üretilmesi dışında diğer bazı faktörlerin daha değerli olduğu ifadeleri bu ilişkiyi savunmayan araştırmacıları destekler niteliktedir. Larsson ve ark.'larının (34) ATP üretimi ile tüketimi arasındaki dengenin bir göstergesi olarak ifade ettikleri kas lifi SDH ve kalsiyumla uyarılan myofibriller ATPase (Ca^{2+} -mATPase) enzim aktivasyonları arasındaki oranının, kas lifinin yorgunlukla olan ilişki düzeyini tarif etmede oksidatif yolla ATP üretim oranını yansıtan SDH enzim aktivitesinden daha önemli bir gösterge olduğu ifadeleri de bu düşünceleri ifade eden araştırmacıların bulguları ile paralellik göstermektedir. Ayrıca antrene olmuş iskelet kasının yorgunluğa daha iyi direnç gösterebilmesinin fosfojen yıkılımı ve yapımını kontrol eden bazı enzimlerin aktivite düzeyi veya ATP döngüsündeki artışla ilişkili olduğu da araştırmacılar tarafından gösterilmiştir (39, 42).

İskelet kası ve egzersiz konusundaki bütün bu bilgilere karşın iskelet kasının kas lif düzeyinde antrenman geçmişi ve cinsiyet farklılığı ile ilişkili bir kısım özelliklerini kantitatif yöntemlerle ortaya koyan çalışma ve bilgi birikimi yetersiz bir düzeydedir. Bu doğrultuda düzenlenen bu çalışma ile iskelet kasının enerji metabolizmasının antrenman geçmişi ve cinsiyet farklılığı ile olan ilişkisini kas lifi düzeyinde araştırmak amaçlandı. Bu ilişkiyi gözlemleyebilmek ve kas lifi düzeyinde ATP tüketim ve üretim oranını tarif edebilmek için kas liflerinde Ca^{2+} -mATPase ve SDH enzim aktiviteleri kantitatif yöntemle ölçüldü. Ayrıca SDH enzim aktivite düzeyi ile ilişkisi tespit edilen kas lifi kapiller yoğunluğu (38) ve kas kuvveti ile ilişkisi tespit edilen kas lifi kesit alanı (10) ölçümleri de çalışmaya dahil edildi.

ARAŞTIRMA YÖNTEMİ

Denekler: Tamamı İsveç Ulusal Atletizm takımının sporcuları olan 22'si erkek ve 8'i bayan toplam 30 elit atlet çalışmaya gönüllü olarak katıldı. Deneklerin bazı fiziksel özellikleri Tablo 1'de özetlendi. Deneklerin yaptıkları sprint/dayanıklılık antrenman oranları (%) verdikleri bilgiler ışığında hesaplandı. Çalışma Karolinska Hastanesi Etik Komitesi tarafından onaylandı.

Enzimo-Histokimyasal ve morfolometrik ölçüm teknikleri: Deneklerin vastus lateralis kaslarından perkutan iğne biyopsisi tekniği ile alınan kas örnekleri tartılıp, freon gazı ve likit nitrojen ile dondurulduktan sonra ileri işlemler için -80°C'da saklandı (23). Örneklerin en geniş bölgesinden -20°C'de kriyotom (2800 Frigocut E, Reichertt-Jung GmbH, Heidelberg, Almanya) ile 10 µm kalınlıkta kesitler alındı. Kesitler alkali ve asit preinkubasyondan sonra miyofibriller ATPase (mATPase) ile boyanıp kas liflerinin tip I, tip IIA, IIB ve IIC olmak üzere sınıflamaları yapıldı. (ayrıntı için kaynak 15'e bakınız). Aynı kesitler ayrıca SDH (35), Ca^{2+} -mATPase (48) ve α -amilaz preinkubasyonunu takiben PAS boyası (1) ile boyandı. SDH ve Ca^{2+} -mATPase ile boyanmış kesit örneklerindeki kas liflerinin SDH ve Ca^{2+} -mATPase enzim aktivasyonları karşılaştırmalı mikrofotometrik yöntemle ölçüldü. Her kas lifi tipi için 20 lifin mikroskoba (Zeiss Axiovert 35, 32 x 1.6 objektif ile) aktarılan görüntülerinin ölçümleri mikrofotometre ile yapıldı (Zeiss MPM). Ölçümler kas lif örneğinin merkezinden sabit ışık kullanılarak (456 nm) yapıldı. Örneği cama

sabitleyen materyalin ve camın absorbansı elde edilen değerlerden çıkartılıp ışık geçirgenliği %'de cinsinden ifade edildi (20,32). Geçirgenlik diafram çevre değerleri 12 µm ve 22 µm olan ışık kaynakları ile ölçüldü. Örnekleri dondurma sırasında oluşan artefaktlardan dolayı bazı kesit örneklerinde 4 kas lifi tipinin tamamı için ölçüm yapılamadı. Enzim aktiviteleri ölçülen her kas lifi etrafındaki (α -amilaz preinkubasyonunu takiben yapılan PAS boyaması ile görünür hale gelen) kapillerlerin sayısı siyah-beyaz büyütülmüş fotoğraf üzerinde hesaplandı. Ayrıca aynı kas liflerinin kesitsel alanları digital kalemle bağlantılı bilgisayar (Videoplan, Kontron Bildanalyse GmbH, Münih, Almanya) ile yarı otomatik olarak ölçüldü. Her kas lifinin kapiller yoğunluğu (kapiller sayı/kesit alanı) hesaplandı. Deneklerin örnekleri alınan kaslarının Metabolik İndeksi (Mİ);

$$[(\% \text{ tip I alan} \times \text{ortalama tip Ca}^{2+}\text{-mATPase/SDH}) + (\% \text{ tip IIA alan} \times \text{ortalama tip IIA Ca}^{2+}\text{-mATPase/SDH}) + (\% \text{ tip IIB alan} \times \text{ortalama tip IIB Ca}^{2+}\text{-mATPase/SDH}) + (\% \text{ tip I alan} \times \text{ortalama tip I Ca}^{2+}\text{-mATPase/SDH})] \times 1/100$$
 formülü ile hesaplandı.

İstatistik: Aritmetik ortalama, standart sapma ve regresyon analizleri bilinen yöntemler ile her bir kas lifi için elde edilen değerlerden hesaplandı. Erkek ve bayanların değerlerinin karşılaştırılmasında t-testi, gruplar arası karşılaştırmalar için ise tek yönlü varyans analizi (ANOVA) kullanıldı. Elde edilen değerler üzerine cinsiyet ve antrenman geçmişi faktörlerinin etkilerini test etmek için ise tekrarlayan ölçümler için varyans analizi (MANOVA) kullanıldı. Gruplar arası farklılıkların anlamlılık düzeyi Tukey testi ile belirlendi $p < 0.05$ değeri istatistiksel anlamlılık olarak değerlendirildi.

BULGULAR

Denekler: Deneklerin sprint/dayanıklılık antrenmanı oranı, boy ve kiloları Tablo 1'de özetlendi. Bayan denekler erkek deneklerden daha kısa boylu ve daha az vücut ağırlığı değerlerine sahipken sprint/dayanıklılık antrenman oranı cinsiyetle ilişkili bir değişiklik göstermemekteydi.

Kas Lif Kompozisyonu, Kesit alanı ve Kapiller Yoğunluk: Kas lif kompozisyonu KMA, OMA ve UMA denekler arasında daha önce değişik çalışma (11,12,21,22,46) sonuçları ile ifade edilen değerlere benzer bir şekilde fark-

lilik göstermekteydi (Tablo 2). Tip IIB kas lif oranı büyükten küçüğe doğru KMA, OMA ve UMA sırası gösterirken tip I kas liflerinin oranı büyükten küçüğe ters yönde bir sıra izlemekteydi (Tablo 1). Kas lifi kompozisyonu olarak erkek ve bayan atletler arasında anlamlı farklılıklar yoktu (Tablo 1). Buna karşın kas liflerinin ortalama kas kesit alanları erkek atletlerde bayanlardan anlamlı büyüktü ($p < 0.01-0.001$). Bu farklılıklar tip I, tip IIA ve tip IIB kas lifleri için sırası ile % 20, % 25 ve % 36 düzeyinde idi. Ayrıca bütün deneklerde cinsiyet farklılığından bağımsız bir şekilde tip II kas liflerinin alanı tip I kas liflerinden daha büyüktü.

Kapiller yoğunluk değerleri tip I kas liflerinde tip II kas liflerinden ve tip II kas liflerinin alt gruplar için tip IIC ve IIA da tip IIB'den daha yüksekken ($p < 0.001$) 3 grubun karşılaştırılmasında kas liflerinin kapiller yoğunluğu için istatistiksel anlamlı farklılıklar yoktu.

SDH ve Ca^{2+} -mATPase Enzim Aktivasyonları: Seri kesitleri alınan vastus lateralis kasının alkali ve asit preinkubasyonları takiben mATPase, Ca^{2+} -mATPase ve SDH ile boyanmış kesit örnekleri Şekil 1'de gösterildi. Şekil 1'de görüldüğü gibi kas lifleri SDH boyanma yoğunluğu olarak büyükten küçüğe tip I, tip IIC, tip IIA ve tip IIB sırası izlerken Ca^{2+} -mATPase boyanma yoğunluğu büyükten küçüğe tersi bir sıra izlemekteydi. Cinsiyet ve antrenman geçmişi gözletilmeksizin yapılan değerlendirmede kas liflerinin SDH ve Ca^{2+} -mATPase aktivite düzeyleri tip IIA ve tip IIB kas liflerinin SDH aktivite düzeyleri arasındaki benzerlik dışında kas lif tipleri arasında farklılıklar göstermekteydi (Tablo 3) Aynı kas liflerinin enzim aktivasyonları karşılaştırıldığında sprint/dayanıklılık antrenman oranları sırası ile % 61 ve % 34 olan KMA ve OMA deneklerin iki enzim için ortalama enzim aktivasyon düzeyleri 4 kas lif tipi için benzerlik gösterirken sprint/dayanıklılık antrenman oranı % 22 olan UMA denekleri her iki enzim için de daha düşük değerlere sahipti. Bu bulgular antrenman tipinde yapılacak oynamaların kas lifinin oksidatif kapasitesi üzerine aynı oranda yansımadağı izlenimi vermektedir. Buna karşın Ca^{2+} -mATPase enzim aktivasyonu aynı kas lif tipi için 3 grup arasında SDH'den farklı bir eğilim izlemekte ve büyükten küçüğe KMA, OMA ve UMA sırası göstermekteydi (Tablo 3). Sadece KMA ile OMA deneklerin tip IIB kas liflerinin Ca^{2+} -mATPase ortalama değerleri benzerdi. Genel olarak

sonuçlar değerlendirildiğinde ise yapılan antrenman tipi olarak % 27'lik net bir farklılığa karşın kas lif düzeyinde KMA ve OMA deneklerin ortalama değerler olarak benzer SDH ve Ca^{2+} -mATPase düzeylerine sahip oldukları, UMA deneklerin ise KMA ve OMA deneklerden daha düşük düzeylere sahip oldukları anlaşılmaktaydı. Bayan atletler tip I ve tip IIA kas lifleri için erkeklerden daha yüksek ($p<0.05$) SDH aktive düzeylerine sahipti (Tablo 3). UMA erkek deneklerin sonuçları toplam sonuçlardan çıkartılıp sonuçlar tekrar karşılaştırıldığında da bayan denekler erkeklerden daha yüksek SDH aktivite düzeyine sahipti. Bayan atletlerin daha düşük olduğunu gözlemlediğimiz tip II kas lifleri için Ca^{2+} -mATPase enzim aktivite düzeyleri de bu ölçümlere dahil edilen lif sayısının azlığından kaynaklanma ihtimali yüksekti (Tablo 3).

4 değişik kas lif tipindeki Ca^{2+} -mATPase: SDH oranı cinsiyetten bağımsız olarak KMA, OMA ve UMA denekleri arasında farklılık (tip IIB>tip IIA> tip IIC > tip I) göstermekteydi (Tablo 3). Fakat oran enzimo-histokimyasal yöntemlerle belirlenen değişik kas hücre tipleri arasında önemli sayılabilecek benzerlikler de göstermekteydi. (Şekil 2). OMA deneklerde tip lifleri için tespit edilen Ca^{2+} -ATPase: SDH oranı UMA deneklerin tip I kas liflerinde tespit edilen değerlerine benzerken tip IIA lifleri için belirlenen değerleri ise KMA atletlerin değerleri ile benzeşmekteydi (Tablo 3). Buna karşın OMA deneklerin tip IIB liflerinde gözlemlenen Ca^{2+} -mATPase: SDH oranı KMA deneklerde tespit edilenden daha düşüktü (Tablo 3). Her ne kadar UMA deneklerin tip IIB liflerinde oranın OMA deneklerden büyük olduğu gözlemlendiyse de böyle bir sonuç UMA deneklerin kısıtlı sayıda tip IIB kas lif sayısına sahip olmalarının bir sonucu olması muhtemeldir. OMA ve UMA deneklerin tip I kas lifleri için tespit edilen benzer Ca^{2+} -mATPase: SDH oranı değerleri antrenmanın kas lif düzeyinde etkilerini ifade etmek açısından ilginçtir.

Kas lifleri için belirlenen Ca^{2+} -mATPase: SDH oranının kas liflerinin kas içinde işgal ettikleri alanla düzeltilmiş değerlerini içeren ve bütün kas örneğinin enerji üretim ve tüketim dengesinin bir ifadesi olarak değerlendirilebilecek olan M_i değeri ise KMA, OMA ve UMA deneklerde sırası ile 1.05 ± 0.25 , 0.83 ± 0.23 ve 0.60 ± 0.09 olarak tespit edildi. Bu değer ANOVA test sonucuna göre sadece KMA ve UMA arasında istatistiksel olarak anlamlı ($p<0.001$) farklı idi. Ayrıca M_i değerleri sprint/dayanıklılık antrenmanı oranı

değerleri ile orta düzeyde bir ilişki ($r=0.61$, $p<0.001$) göstermekteydi. Sırası ile 0.98 ± 0.79 ve 0.79 ± 0.25 Mİ değerine sahip olan KMA ve OMA bayan deneklerin değerleri ile sırası ile 1.03 ± 0.17 ve 0.83 ± 0.20 Mİ değerine sahip olan KMA ve OMA erkek deneklerin değerleri arasında istatistiksel anlamlı farklılıklar yoktu.

Kas Lif Kesit Alanı, Ca^{2+} -mATPase: SDH Oranı ve Kapiller Yoğunluk Arasındaki İlişki: Kas liflerinin Ca^{2+} -mATPase: SDH oranı ile kesit alanları arasındaki ilişkiler Şekil 2 ve 3'de gösterildi. Oran KMA, OMA ve UMA deneklerde tip I kas liflerinin kesit alanından etkilenmezken tip IIC lifleri ve OMA deneklerde tip IIA ve tip IIB liflerinin enzim oranları üzerinde artan bir etkiye sahipti (Şekil 2). Bu ilişki OMA deneklerde tip IIC, tip IIA ve tip IIB ve UMA deneklerde ise tip IIC için anlamlı idi. Düşük ve orta düzeyli bu ilişkiler OMA deneklerde sırası ile $r=0.66$ ($p<0.02$), $r=0.22$ ($p<0.05$) ve $r=0.35$ ($p<0.01$), UMA deneklerde ise $r=0.52$ ($p<0.001$) idi (Şekil 2). Sonuçlar cinsiyet farklılığı gözönüne alınarak değerlendirildiğinde ise erkek deneklerde bütün kas lif tipleri için Ca^{2+} -mATPase: SDH oranı ile kesit alanı arasında ilişkiler gözlemlendi (Şekil 3). Benzer bir ilişki erkek sıçanların hızlı kasılan iskelet kaslarında da gözlemlenmişti (34,49). Bayan deneklerde ise anlamlı ilişki sadece tip IIC kas lifleri için tespit edildi (Şekil 3). Fakat tespit edilen bu ilişkiler $r=0.21-0.66$ gibi düşük bir düzeydeydi. Bütün sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde ise anlamlı ilişki ($r=0.52$) sadece tip IIC kas lifleri için tespit edildi (Şekil 3).

KMA ve UMA deneklerin değişik kas lif tipleri için Ca^{2+} -mATPase: SDH oranı kapiller yoğunluk arttıkça azalırken OMA deneklerde bu iki değer arasında anlamlı ilişkiler gözlenmemekteydi (Şekil 4). KMA ve UMA deneklerde oranla kapiller yoğunluk arasında gözlemlenen $r=-0.20-0.40$ arasında olan ilişkiler de düşük düzeyli ilişkilerdi.

TARTIŞMA

Bu çalışmanın sonuçları genel anlamda değerlendirildiğinde kas lif düzeyinde antrenman geçmişi ile ilişkili olarak benzer kas lif tipleri için SDH ve Ca^{2+} -mATPase enzim aktivasyon düzeyleri KMA, OMA ve UMA grupları arasında (özellikle KMA ve OMA arasında) belirgin farklılıklar göstermezken,

aynı lif tipleri için bu iki enzimin birbirine oranı gruplar farklılıklar göstermekteydi. Oran kas lif tipinin relatif alanı ile düzeltilip (MI) ifade edildiğinde ise gruplar arasında daha net farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Bu da kas liflerinde ölçülen bu enzimlerin aktivasyon düzeylerinin atletin antrenman geçmişini ifade etmede bütün kas lifi için ifade edilen değer kadar anlamlı olmadığı izlenimi vermektedir. Degens ve ark.larının (14) "bütün kas aktivitesi sırasındaki metabolik değişiklikler tek motor unit aktivitesinde olandan daha anlamlıdır" ifadesi de bu izlenimizi destekler niteliktedir. Ayrıca bulgularımız "antrenman dayanıklılık kapasitesinin sınırlarını belirlerken, sprint veya mesafe koşusunun başarısı öncelikli olarak kas lif kompozisyonu tarafından belirlenir" ifadesini kullanan Costill ve ark.larının (11) bulguları ile de uyum içerisindedir.

Ca²⁺-mATPase: SDH Oranı ve Antrenman Geçmişi: Kas lif tiplerinin kasılma özellikleri arasındaki farklılıkların bu liflerin metabolik özellikleri arasındaki farklılıkların bir sonucu olması olasıdır. Yavaş kasılan kas liflerinden 2-2.5 kat daha fazla mATPase aktivitesine sahip olan hızlı kasılan kas liflerinin (18) maksimal kasılmalar sırasında yavaş kasılan liflerden daha fazla ATP'ye ihtiyaç duymaları (49) ve mATPase aktivite düzeyi ile kasılma hızı arasında gözlemlenen anlamlı ilişkiler bu düşüncüyü desteklemektedir (3). Ayrıca çabuk yorulan kas liflerinin istirahat döneminde yorgunluğa daha fazla direnç gösteren kas liflerinden daha büyük oranda ATP'ye sahip olduğu şeklindeki bulgular da bu düşünce ile paralellik göstermektedir (41). Bu çalışmada kas lifinin enerji tüketim ve üretim oranının bir göstergesi olarak aldığımız Ca²⁺-mATPase: SDH oranının histokimyasal olarak sınıflandırılan 4 kas lif tipi arasında anlamlı farklılıklar gösteren değerleri (tip IIB>tipIIA>tip IIC>tip I) bu kas liflerinin enerji metabolizmaları arasında farklılıklar ifade eden çalışma sonuçları ile uyum içerisindedir. Bu da histokimyasal olarak sınıflandırılan kas lif tiplerinin farklı enerji tüketim ve üretim kapasite özelliklerine sahip oldukları şeklinde yorumlanabilir. Fakat değişik antrenman geçmişi özelliklerine sahip denek gruplarının kas örneklerinde aynı kas lif tipi için gözlemlenen benzer enzim aktivite düzeyleri antrenman tipinde yapılacak oynamaların benzer kas lif hücrelerinin metabolik özellikleri üzerinde benzer oranda yansımadağı izlenimi vermektedir. Bununla birlikte oran kas liflerinin relatif alan değerleri ile düzeltilerek tüm kas yansıtıldığında (MI) ant-

renman geçmişi ile ilişkili belirgin farklılıklar göze çarpmaktadır (özellikle KMA ve UMA arasında). Bu da kas lif düzeyinde kantitatif yöntemle bazı enzimler için yapılacak değerlendirmelerin bireyin antrenman geçmişini ifade etmede bütün kas için yapılacak benzer ifade kadar değerli olmadığı ve kas lif tipinin kas içinde işgal ettiği relatif alanın antrenman geçmişini irdelemede önemli bir değer olduğu izlenimi vermektedir. Benzer bir ifade kas yorulğunun olası nedenlerini açıklarken bütün kas kitlesinin aktivasyonu sırasında elde edilen metabolik değişikliklerin tek kas liflerinin aktivasyonu sırasında elde edilenden çok daha önemlidir ifadesini kullanan Degens ve ark.larının (14) görüşü ile uyum içerisindedir.

Büyükten küçüğe doğru Mİ değerinin KMA, OMA ve UMA sırası izlemesi daha fazla sprint antrenmanı yapan atletlerin daha az yapanlarla karşılaştırıldığında güç ortaya çıkarmak için daha fazla ATP tüketim kapasitesine sahip oldukları, buna karşın dayanıklılık antrenmanı yapanlarında aktivitelerini devam ettirebilmeleri için tükediklerinden daha fazla ATP üretme kapasitesine sahip oldukları şeklinde yorumlanabilir. Hayvan çalışmalarında hızlı kasılan kas grubu olarak isimlendirilen kasların yavaş kasılma özelliğine sahip kaslardan daha büyük güç oluşturma ve daha büyük ATP tüketim-üretim oranına sahip olduğu bulguları düşüncemizle paralellik göstermektedir (6,13). Diğer bir kısım araştırmacıların insan kas örneklerinden elde ettikleri hızlı kasılan kas lifleri için büyük güç oluşturma (19) ve ATP döngü oranına sahip olduğu şeklindeki ifadeleri (29), bu çalışmada daha büyük oranda hızlı kasılan kas liflerine sahip olan deneklerde daha fazla yavaş kasılan kas lifi oranına sahip olan deneklerden daha büyük olduğunu gözlemediğimiz Mİ değeri ilgili yorumumuzu destekler niteliktedir. Bu bilgiler ışığında değişik metabolik özelliklere sahip olan kas lif tiplerinin kas içinde işgal ettikleri alan oranının atletin antrenman geçmişi ve kasının metabolik özelliklerini irdelemede önemli belirleyici olduğunu ifade etmek mümkündür. Antrenman tipindeki değişikliklerin özellikle tip II kas lifinin alt gruplarının oranları arasında değişikliklere neden olduğu bulguları da bu düşüncemizi desteklemektedir (2,27,33,40).

Tek Kas Lifinin Yorgunlukla İlişkili Enzimo-Histokimyasal Özellikleri: Degens ve ark.ları (14) yaşlılıkla ilgili çalışmalarında yorgunluğa direnç ile tip I ve tip IIA kas liflerinin relatif alanı, oksidatif enzim aktivasyonu ve kapiller yo-

ğunluk arasında anlamlı ilişkiler bulamamış ve bu parametrelerin iskelet kasının yorgunluğa direnç kapasitesini tarif edemeyeceği görüşünü ileri sürmüştür. Benzer bir şekilde Kernell ve ark.ları (30) da histokimyasal olarak belirlenen SDH enzim aktivite düzeyi ile kasın yorgunluğa direnci arasında ilişki olmadığını savunmuştur. Tip I kas liflerinden daha hızlı kasılma özelliğine sahip tip IIA kas liflerinde tip I liflerinde tespit edilenden daha yüksek SDH enzim aktivite düzeyleri de bu düşünceleri destekler niteliktedir (7). Bu bilgilerin ışığında kasın yorgunluk ile ilişkili metabolik özelliklerini ifade etmek için oksidatif yolla ATP üretim kapasitesini ortaya koyacak değerlendirmelerden daha önemli parametreler olabileceğini söylemek mümkündür ki ATP tüketim ve üretim oranının bir göstergesi olarak ifade edilen kas lifinin Ca^{2+} -mATPase: SDH oranı kas lifinin yorgunluğa direncini oksidatif ölçümlerden daha iyi ifade ettiği bulguları da bu düşünceleri desteklemektedir (34,48). Yorgunluğa direnci ifade etmede bu oranın önemini vurgulayan Van der Laarse (48) bu görüşünü yavaş kasılan kas liflerinin kesit alanı daha ufak olan hızlı kasılan kas liflerinden daha az SDH aktivite düzeyine sahip olduğu bulguları ile açıklarken aynı görüşleri paylaşan Larsson ve ark.ları (34) ise görüşlerini hızlı kasılan kas lifleri çok farklı düzeyde SDH enzim aktivite düzeyine sahipken aynı kas liflerinin birbirinden çok büyük farklılıklar göstermeyen Ca^{2+} -mATPase enzim aktivite düzeylerine sahip olmaları ile açıklamışlardır. Bu çalışmada elde ettiğimiz bulgular bu görüşlerle uyum içerisindedir. Histokimyasal olarak aynı tip kas liflerinin deneklerin değişik antrenman geçmişlerine rağmen benzer enzim aktivite düzeyi ortalama değerlerine karşın iki enzimin birbirine oranın antrenman geçmişi ile ilişkili farklılıklar gösteren değerleri de bu parametrenin önemini vurgulayan çalışmaların sonuçlarını desteklemektedir.

Ca²⁺-mATPase: SDH Oranı ile Kas Lif Kesit Alanı ve Kapiller Yoğunluk Arasındaki İlişki: Bu çalışmada tespit ettiğimiz büyük kas kesit alanına sahip olan kas liflerinin düşük SDH ve yüksek Ca^{2+} -mATPase enzim aktivite düzeylerine sahip oldukları bulgularımız Larsson ve ark.larının (34) yaşlılık çalışmalarında tespit ettikleri bulgularla benzerlik göstermektedir. Bulgularımız kesit alanı ufak olan hızlı kasılan ve yavaş kasılan kas liflerinde SDH: Ca^{2+} -mATPase oranının kesit alanı büyük olan liflerden daha yüksek olduğunu ifade eden Van der Laarse ve ark.larının (49) bulguları ile de benzerlik gös-

termektedir. Ayrıca KMA ve OMA deneklerin hızlı kasılan kas liflerinde oran ile kas kesit alanı arasında gözlemediğimiz negatif ilişkiler de Van der Laarse ve ark.ları (48) tarafından hızlı kasılan lifler için tespit edilmişti. SDH enzim aktivasyonu ile kas lifi kesit alanı arasında gözlemediğimiz negatif ilişki de birçok araştırmacı tarafından tespit edilmiştir (9,20,32). Buna karşın bir çok araştırmacı da hipertrofiye olmuş kasların oksidatif ve glikolitik enzim aktivasyonlarının normal kaslarla benzer olduğunu ifade etmişlerdir (26,36). Chalmers ve ark.larının (9) aktomyozin ATPase'in artışı ile birlikte ATP tüketimi ve metabolik mekanizmalarla ilişkili protein sentezinde anlamlı değişiklikler olmaksızın hücre büyüklüğünün birkaç kat artmasının mümkün olduğu şeklindeki görüşleri kasın metabolik özelliklerindeki değişikliklerin kasın kitlesi ile doğrudan ilişkili olmadığı şeklinde yorumlanabilir. Ayrıca Chalmers ve ark.ları (9) SDH aktivite düzeyinin kesit alanı boyunca relatif olarak benzer olduğu görüşünü de ifade etmişlerdir. Bu da hipertrofi ile kas lifinin etrafında oluşan yeni bölgenin lifin orta bölgesi ile karşılaştırıldığında benzer metabolik özelliklere gösterdiği şeklinde yorumlanabilir ki Epstein ve ark.ları (16) da bu düşüncüyü desteklemektedir. Bu bilgiler kas kesit alanı boyunca kas lifinin merkezine olan mesafe artsa da potansiyel olarak ATP üretim ve tüketim kapasitesinde değişiklikler olmadığına işaret etmektedir. Bulgular genel olarak değerlendirildiğinde kas lifinin kitlesinde sağlanabilecek önemli gelişmelerin miyofibrillerin enerji metabolizmasını düzenleyen veya kontrol eden bir kısım enzimlerin kantitatif yöntemlerle belirlenen potansiyel miktarları üzerinde anlamlı değişikliklere neden olmadığı söylenebilir (9).

Bu çalışma da aynı kas lifi tipi için farklı antrenman geçmişine sahip grupların benzer kapiller yoğunluk değerleri sprint ve dayanıklılık antrenmanın her ikisinin de kapiller yoğunluk üzerinde benzer etkiler sağladığı izlenimi vermektedir. Dayanıklılık antrenmanı ile iskelet kası kapillarizasyonun geliştiği bulguları (1,5) yanında bir aylık sprint antrenmanını takiben de tip II kas liflerinin kapillarizasyonunda artışlar olduğu bulguları (33) çalışmamızda farklı antrenman geçmişine sahip denek gruplarının aynı kas lifi tipi için tespit ettiğimiz benzer kapiller yoğunluk değerlerini açıklar niteliktedir. Kapiller yoğunluk ile oksidatif enzim aktivasyonu arasında anlamlı ilişki olduğunu ifade eden çalışma sonuçları (37) iskelet kasının yorgunluğa direnç kapasitesi ile kapiller yoğunluk arasında olası bir ilişkiyi akla getirmektedir. Bu doğrultuda çalışmaya dahil edilen kapiller yoğunluk parametresi ile Ca^{2+} -mATPase:

SDH oranı arasında KMA ve UMA gruplarında sırası ile I, tip IIA, tip IIB ve tip I, tip IIA kas lifleri için gözlemediğimiz düşük düzeyli ilişkiler kas lifinin enerji metabolizması ile kapiller yoğunluk arasında olası bir ilişkiye işaret etmektedir. Oranla kapiller yoğunluk arasındaki bu ilişkinin SDH ile kapiller yoğunluk arasında gözlemediğimiz pozitif ilişkilerin (bu çalışmada sunulmayan gözlemimiz) orana yansımalarının bir sonucu olması muhtemeldir. Böyle bir olasılık kapiller yoğunluk ile oksidatif enzim aktivasyonu arasındaki ilişkiyi savunan araştırmaların sonuçları ile paralellik göstermektedir.

Ca²⁺-mATPase: SDH Oranı ve Cinsiyet: Tip IIA ve tip IIB kas lifleri için erkeklerde bayanlardan daha yüksek olduğunu tespit ettiğimiz oranın erkek ve bayanların aynı kas lifleri için benzer Ca²⁺-mATPase düzeylerine karşın farklı SDH enzim aktivasyonu değerlerinden kaynaklanmış olması muhtemeldir. Benzer bir şekilde erkekler de bayanlardan bu kas lif tiplerinin kesit alanları için gözlemediğimiz yüksek değerler kas kesit alanı ile kuvvet oluşumu arasında ilişkiyi tarif eden çalışma sonuçları (10) ile birleştirildiğinde, bulgularımız erkek deneklerin aynı tür aktiviteye katılan bayanlardan daha büyük oranda ATP tüketme kapasitesi ile birlikte daha büyük kuvvet oluşturma yeteneğine sahip oldukları şeklinde yorumlanabilir. Dayanıklılık aktivitesinden önce bayanlarla anlamlı farklılıklar göstermeyen kas glikojen seviyesine sahip olan erkek deneklerin aktiviteyi takiben bayan deneklerden % 25 daha düşük kas glikojen seviyesine sahip olduğu şeklindeki bulgular bu düşüncemizi destekler niteliktedir (43).

Sonuç olarak bulgularımız, 1) kas lifi ATP döngüsünün bir göstergesi olarak ifade edilen Ca²⁺-mATPase: SDH oranının sporcunun antrenman geçmişi ile ilişkili metabolik özelliklerini irdelemede iyi bir parametre olduğunu, 2) kas lifinin kesitsel alanında olabilecek değişikliklerin bu enzimlerin aktivasyon düzeyleri üzerinde anlamlı değişikliklere yol açmadığını, 3) kas liflerinin kas içinde işgal ettikleri relatif alanın kasın antrenman geçmişi ile ilişkili bir kısım özelliklerini ifade etmede değerli bir parametre olduğunu, 4) iskelet kasının antrenman geçmişi ile ilişkili bir kısım özelliklerini bütün kas kütlesini içine alan değerlendirmenin (MI) tek kas lifi düzeyinde yapılan değerlendirmelerden daha iyi yansıttığını ve 5) benzer tipte antrenman geçmişine sahip olan erkek deneklerin aynı kas lifi tipi için bayan deneklerden daha düşük düzeyde SDH ve benzer düzeyde Ca²⁺-mATPase enzim aktivasyonu ve daha yüksek Ca²⁺-mATPase: SDH oranı değerlerine sahip olduklarını gösterdi.

Tablo 1. Deneklerin bazı fiziksel özellikleri kas lif kompozisyonu ve sprint/dayanıklılık antrenman oranları. Değerler aritmetik ortalama±standart sapmadır.

Grup	Mesafe	Cinsiyet	n	Yaş (yıl)	Boy (cm)	Vücut Ağırlığı (kg)	Kas lif kompozisyonu (%)					Sprint/dayanıklılık (%)
							I	IIC	IIA	IIB		
1	Kısa	Erkek	9	22±5	133±6	73±7 ³	36±10 ^{2,3}	1±1	33±9	29±10 ^{2,3}	63±13 ^{2,3}	
		Bayan	5	17±1	172±7	59±5	44±3	0±0	31±7	25±0	50±10	
		Toplam	14	20±5	179±3	63±9	39±10 ^{2,3}	1±1	32±7	23±10 ^{2,3}	51±15 ^{2,3}	
2	Orta	Erkek	7	18±1	136±4 ³	70±2 ³	59±14 ¹	1±2	28±6	11±11 ¹	30±11 ¹	
		Bayan	3	17±1	163±7	57±5	47±8	0±0	36±7	13±11	40±10	
		Toplam	10	13±1	130±9	66±7	55±13 ^{1,3}	1±2	31±7	13±11 ¹	34±11 ¹	
3	Uzun	Erkek	6	22±4	179±3 ²	61±3 ^{1,2}	71±12 ¹	1±2	26±9	3±4 ¹	20±4 ¹	
		Bayan	0	-	-	-	-	-	-	-	-	
		Toplam	6	22±4	179±3	61±3	71±12 ^{1,2}	1±2	26±9	3±4 ¹	20±4 ¹	
P	§		a.y.	<0.05	<0.001	<0.001	<0.001	a.y.	a.y.	<0.001	<0.001	

§ Kolonların altındaki değerler varyans analizi (MANOVA) sonuçlarına göre anlamlılık düzeyimi, satır üstü küçük rakamlar ile 3 grup arasındaki anlamlılığı ifade etmektedir.

** ve *** erkek ve bayanların değerlerinin karşılaştırmasında t-testi sonuçlarına göre sırası ile $p < 0.01$ ve $p < 0.001$ anlamlılık düzeyini göstermektedir.

Tablo 2. Erkek ve bayan kısa-, orta- ve uzun-mesafe atletlerinin kas liflerinin kesit alanı (Alan) ve kapiller yoğunluğu (Kpır. Yoğ.) sonuçları. Değerler aritmetik ortalaması±standart sapmadır.

Lif		Kısa		Orta		Uzun		Bayan		Erkek		Toplam	
Tipi	Grup	n	Alan	n	Alan	n	Alan	n	Alan	n	Alan	n	Alan
Alan	I	266	4919±801	161	4818±650	108	4764±1140	167	3900±1458**	868	4841±868	535	4579±1063
	II C	48	4880±1211	12	5452±405	3	5078±699	21	5143±1286	42	5072±1069	63	5072±1069
	II A	224	5900±1330	153	6035±799	97	4842±1700	115	4096±1422***	368	5500±1447	473	5113±1528
	II B	171	5032±1096	76	5439±1046	21	5014±1941	105	3290±978 ***	144	5119±1118	249	4454±1415
ρ Ş		a.y.		a.y.		a.y.		a.y.		a.y.		a.y.	a.y.
Kalp.Yoğ./ (n/µm ²)	I	180	1.2±0.6	94	1.3±0.2	83	1.1±0.2	112	1.2±0.4	245	1.1±0.4	367	1.1±0.4 ^{2,3,4}
	II C	39	1.0±0.1	8	0.9±0.4	3	0.9±0.2	20	0.9±0.3	27	1.0±0.3	47	0.9±0.8 ^{1,4}
	II A	150	0.9±0.6	79	1.0±0.0	73	1.0±0.9,0.3	78	0.9±0.4	228	0.9±0.4	801	0.9±0.4 ^{1,4}
	II B	114	0.9±0.5	23	1.1±0.3	12	0.7±0.1	63	0.9±0.4	46	0.8±0.2	109	0.8±0.8 ^{1,2,3}
ρ Ş		a.y.		a.y.		a.y.		a.y.		a.y.		a.y.	<0.001

Ş Kolonların altındaki değerler varyans analizi (MANOVA) sonuçlarına göre anlamlılık düzeyini, satır üstü küçük rakamlar ise 4 farklı kas lifi tipi arasındaki anlamlılığı ifade etmektedir.

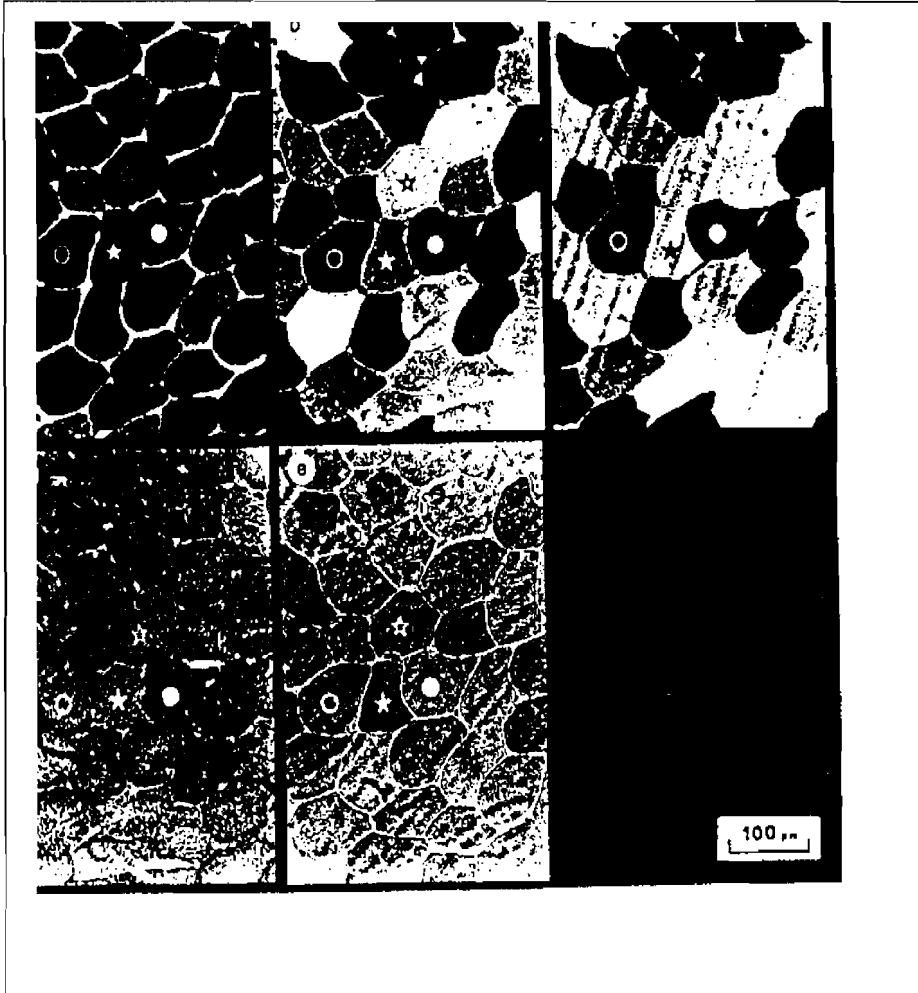
** ve *** erkek ve bayanların değerlerinin karşılaştırmasında t-testi sonuçlarına göre sırası ile p<0.01 ve p<0.001 anlamlılık düzeyini göstermektedir.

Tablo 3. Erkek ve bayan kısa-, orta- ve uzun-mesafe atletlerinin kas liflerinin suksinik dehidrogenaz (SDH), kalsiyumla uyarılan miyofibriller ATPase (Ca²⁺-mATPase) enzim aktivasyon düzeyleri ve Ca²⁺-mATPase/SDH oranı. Değerler aritmetik ortalaması±standart sapmadır.

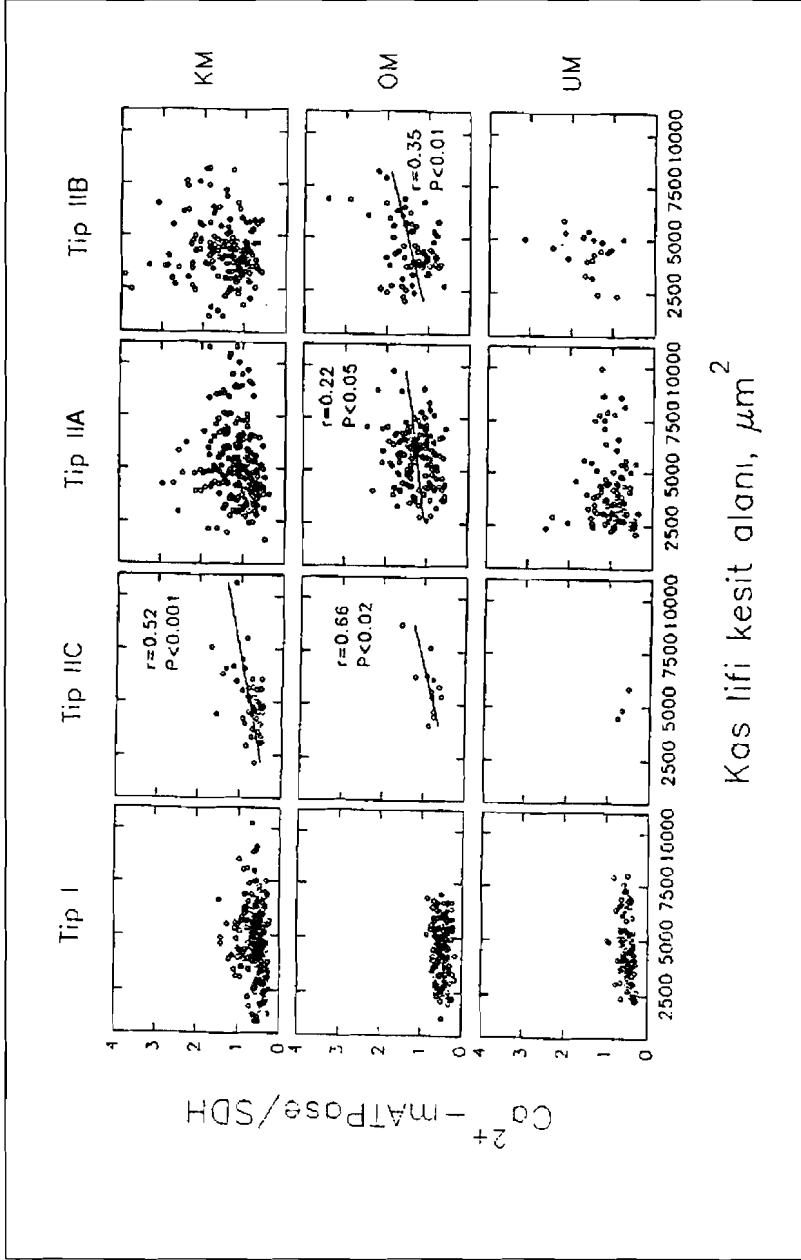
Lif Tipi	Grup	n	Kısa	n	Orta	n	Uzun	n	Bayan	n	Erkek	n	Toplam
SDH	1	266	0.28±0.05	161	0.27±0.06	108	0.25±0.06	167	0.29±0.07 ^{2,3,4}	368	0.25±0.06 ^{2,3,4}	536	0.26±0.06 ^{2,3,4}
	2	48	0.21±0.08	12	0.19±0.04	3	0.20±0.04	21	0.19±0.05 ¹	42	0.21±0.06 ^{1,3,4}	83	0.20±0.06 ^{1,3,4}
	3	224	0.16±0.04	153	0.16±0.03	97	0.15±0.03	115	0.18±0.05 ¹	358	0.15±0.06 ^{1,2}	473	0.15±0.06 ^{1,2}
	4	171	0.15±0.06	76	0.15±0.03	21	0.12±0.05	105	0.16±0.09 ¹	144	0.15±0.05 ^{11,2}	249	0.15±0.05 ^{1,2}
p §		a.y.	a.y.	a.y.	a.y.	a.y.	a.y.	a.y.	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	
Ca ²⁺ -mATPase	1	266	0.14±0.03	161	0.13±0.03	108	0.12±0.03	167	0.15±0.04 ^{3,4}	368	0.13±0.06 ^{2,3,4}	535	0.13±0.03 ^{2,3,4}
	2	48	0.16±0.04	12	0.16±0.02	3	0.13±0.00	21	0.13±0.03 ^{3,4**}	42	0.17±0.03 ^{1,4}	63	0.16±0.04 ^{1,4}
	3	224	0.18±0.03	153	0.17±0.02	97	0.14±0.04	115	0.17±0.04 ^{1,3,4}	348	0.17±0.04 ^{1,4}	473	0.17±0.04 ^{1,4}
	4	171	0.21±0.07	76	0.21±0.05	21	0.17±0.04	105	0.21±0.05 ^{1,2,3}	144	0.22±0.04 ^{1,2,3}	249	0.21±0.05 ^{1,2,3}
p §		a.y.	a.y.	a.y.	a.y.	a.y.	a.y.	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001		
Ca ²⁺ -mATPase/SDH	1	266	0.57±0.21	161	0.49±0.14	108	0.48±0.14	167	0.54±0.23	368	0.52±0.16	535	0.53±0.19 ^{2,3,4}
	2	48	0.94±0.33	12	0.84±0.27	3	0.88±0.13	21	0.79±0.48	42	0.87±0.29	63	0.84±0.38 ^{1,3,4}
	3	224	1.19±0.25	153	1.14±0.24	97	1.00±0.20	115	1.06±0.32	358	1.23±0.50	473	1.19±0.49 ^{1,2,4}
	4	171	1.69±0.88	76	1.47±0.45	21	1.59±0.41	105	1.49±0.66	144	1.71±0.79	249	1.62±0.78 ^{1,2,3}
p §		a.y.	a.y.	a.y.	a.y.	a.y.	a.y.	a.y.	a.y.	a.y.	a.y.	<0.001	

§ Kolonların altındaki değerler varyans analizi (MANOVA) sonuçlarına göre anlamlılık düzeyini, satır üstü küçük rakamlar ise 4 kas lif tipi arasındaki anlamlılığı ifade etmektedir.

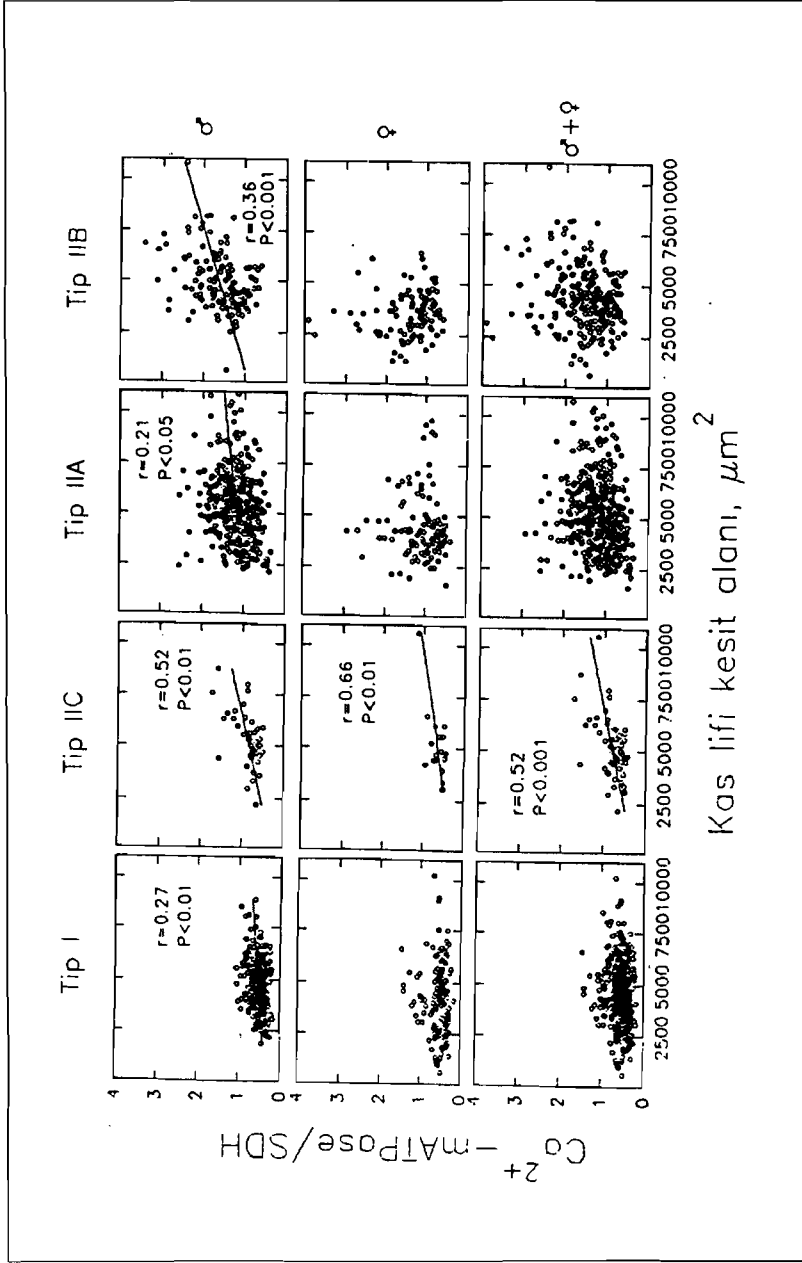
* ve *** erkek ve bayanların değerlerinin karşılaştırılmasında t-testi sonuçlarına göre sırası ile p<0.05 ve p<0.01 anlamlılık düzeyini göstermektedir.



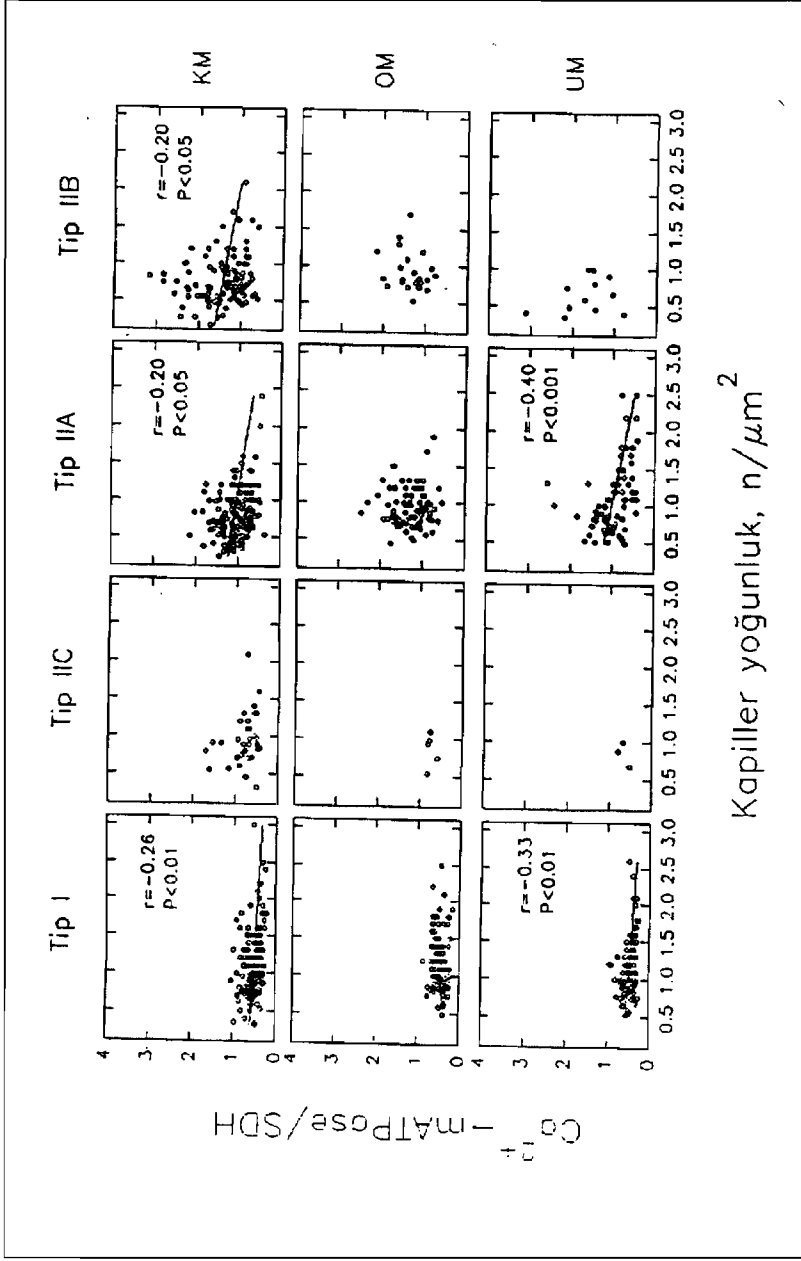
Şekil 1. Vastus lateralis kasından alınan seri kesit örneklerinin alkali (a, pH 9.4) ve asit (b, pH 4.55; c, pH 4.3) preinkubasyonları takiben miyofibriller ATPase, süksinil dehidrogenaz (d) ve kalsiyumla uyarılan miyofibriller ATPase (e) boyası ile boyanmış örnekleri. İçi dolu halka, tip I, içi boş halka, tip IIC, içi dolu yıldız, tip IIB ve içi boş yıldız, tip IIA kas lif tiplerini göstermektedir.



Şekil 2. Kısa- (KMA), orta- (OMA) ve uzun-mesafe atlerinin (UMA) kas örneklerindeki liflerin kalsiyumla uyarılan miyofibriller ATPase (Ca^{2+} -mATPase): süksinil dehidrogenaz (SDH) enzim aktivasyon oranları ile kas liflerinin kesit alanları (μm^2) arasındaki ilişkiler.



Şekil 3. Erkek ve bayan atletlerin kas örneklerindeki liflerin kalsiyumla uyarılan miyofibriller ATPase (Ca²⁺-mATPase); süksinil dehidrogenaz (SDH) enzim aktivasyon oranları ile kas liflerinin kesit alanları (µm²) arasındaki ilişkiler.



Şekil 4. Kısa- (KMA), orta- (OMA) ve uzun-mesafe atletlerin (UMA) kas örneklerindeki liflerin kalsiyumla uyarılan miyofibriller ATPase (Ca^{2+} -mATPase): süksinil dehidrogenaz (SDH) enzim aktivasyon oranları ile kas liflerinin kapiller yoğunluğu ($n/\mu\text{m}^2$) arasındaki ilişkiler.

KAYNAKLAR

- 1- Andersen P. (1975). Capillary density in skeletal muscle of man. *Acta Physiol Scand* 95: 203-205.
- 2- Andersen P and Henriksson J. (1977). Training induced changes in the subgroups of human type II skeletal muscle fibres. *Acta Physiol Scand* 99: 123-125.
- 3- Barany M. (1967). ATPase activity of myosin correlated with speed of muscle shortening. *J Gen Physiol* 50: 197-216.
- 4- Boobis LH, Williams C and Wotton SA. (1982). Human muscle metabolism during brief maximal exercise. *J Physiol* 338: 21-22.
- 5- Brodal P, Ingjer F and Hermansen L. (1977). Capillary supply of skeletal muscle fibres in untrained and endurance trained men. *Am J Physiol* 232 (Heart Circ Physiol): H 705-H 712.
- 6- Brookes SV, Faulkner JA and McCubrey DA. (1990). Power outputs of slow and fast skeletal muscles of mice. *J Appl Physiol* 68: 1282-1285.
- 7- Burke RE (1981). Motor units: anatomy, physiology, and functional organization. In: *Handbook of Physiology. The Nervous System. Motor Control*, vol. II, section 1, part 1, ed. Brooks V.B., pp. 345-422. American Physiological Society, Bethesda, MD, USA.
- 8- Cadefau J, Casademont J, Grau JM, Fernandez J, Balaguer A, Vernet M, Cusso R and Urbano-Marquez A. (1990). Biochemical and histochemical adaptation to sprint training in young athletes. *Acta Physiol Scand* 140: 341-351.
- 9- Chalmers GR, Roy RR and Edgerton VR. (1992). Variation and limitations in fibre enzymatic and size responses in hypertrophied muscle. *J Appl Physiol* 73: 2: 631-641.
- 10- Close RI. (1972). Dynamic properties of mammalian skeletal muscles. *Physiol Rev.* 52: 129-197.
- 11- Costill DL, Daniels J, Evans W, Fink W, Krahenbuhl G and Saltin B. (1976). Skeletal muscle enzymes and fiber composition in male and female track athletes. *J Appl Physiol* 40 (2): 149-154.
- 12- Costill DL, Fink WJ and Pollock ML. (1976). Muscle fiber composition and enzyme activities of elite distance runners. *Med Sci Sports Exerc* 8 (2): 96-100.
- 13- Crow MTA and Kushmerick MJ. (1982). Chemical energetics of slow and fast-twitch muscle of the mouse. *J Gen Physiol* 79: 147-166.
- 14- Degens H, Veerkamp JH, van Moerkerk HTB, Teker Z, Hoofd LJC and Binkhorst RA (1993). Metabolic capacity, fibre type area and ca-

- pillarization of rat plantaris muscle. Effects of age, overload and training and relationship with fatigue resistance. *Int J Biochem* In press.
- 15- Edström L and Larsson L. (1987). Effects of age on contractile and enzyme-histochemical properties of fast-and slow-twitch single motor units in the rat. *J Physiol Lond* 392: 129-145.
 - 16- Epstein HF and Fischman DA. (1991). Molecular analysis of protein assembly in muscle development. *Science Wash DC* 251: 1039-1044.
 - 17- Essen B. (1978). Glycogen depletion of different fibre types in human skeletal muscle during intermittent and continuous exercise. *Acta Physiol Scand* 103: 446-455.
 - 18- Essen B, Jansson E, Henriksson J, Taylor AW and Saltin B. (1975). Metabolic characteristics of fibre types in human skeletal muscle. *Acta Physiol Scand* 95: 153-165.
 - 19- Faulkner JA, Claflin DR and McCully KK. (1986). Power output of fast and slow fibres from human skeletal muscle. In: *Human Power Output*, ed. NL Jones, N McCartney and AJ McComas, pp. 81-89. Human Kinetics Publishers, Champaign, IL- USA.
 - 20- Goldspink G and Waterson SE. (1971). The effect of growth and inanition on the total amount of nitroblue tetrazolium deposited in individual muscle fibres of fast and slow rat muscle. *Acta Histochem* 40: 16-22.
 - 21- Gollnick PD, Armstrong RB, Saltin B, Saubert CW IV, Sembrowich WL and Shepherd RE. (1973). Effect of training on enzyme activity and fiber composition in skeletal muscle. *J Appl Physiol* 34: 107-111.
 - 22- Gollnick PD, Armstrong RB, Saubert CW IV, Piehl K and Saltin B. (1972). Enzyme activity and fiber composition in skeletal muscle of untrained and trained muscle. *J Appl Physiol* 33: 312-319.
 - 23- Gür H and Larsson L. (1991). Regional differences in the influence of the interval between removal and freezing of muscle samples on muscle fibre size. *Acta Physiol Scand* 143: 445-446.
 - 24- Howald H, Hoppeler H, Claassen H, Matieu O and Straub R. (1985). Influences of endurance training on the ultrastructural composition of the different muscle fibre types in humans *PLügers Arch* 403: 369-376.
 - 25- Hultman E, Bergström M, Spriet LL and Söderlund K. (1990). Energy metabolism and fatigue. In: A. Taylor, P. Gollnick, H. Green, C. Lunuzzo, E. Noble, G. Metivier and J. Sutton (eds), *Biochemistry of Exercise VII*, pp. 73-92. Human Kinetic Publications Champaign.
 - 26- lanuzzo DC and Chen V. (1979). Metabolic character of hypertrophied rat muscle. *J Appl Physiol* 46: 738-742.

- 27- Ingjer F. (1979). Effects of endurance training on muscle fibre ATPase activity, capillary supply and mitochondrial content in man. *J Physiol* 294: 419-432.
- 28- Jansson E, Dudley GA, Norman B and Tech PA. (1987). ATP and IMP in single human muscle fibres after high intensity exercise. *Clin Physiol* 7: 337-345.
- 29- Katz A, Sahlin K and Henriksson J. (1986). Muscle ATP turnover rate during isometric contractions in humans. *J Appl Physiol* 60: 1839-1842.
- 30- Kernell D, Donselaar Y and Eerbeek O. (1987). Effects of physiological amounts of high and low-rate chronic stimulation on fast-twitch muscle of the cat hindlimb. Endurance related properties. *J Neurophysiol* 58: 614-627.
- 31- Komi PV and Karlsson J. (1987). Skeletal muscle fibre types, enzyme activities and physical performance in young males and females. *Acta Scand Physiol* 103: 210-218.
- 32- Kugelberg E and Lindegren B. (1979). Transmission and contraction fatigue of rat motor units in relation to succinate dehydrogenase activity of motor unit fibres. *J Physiol Lond* 288: 285-300.
- 33- Kuno S, Inaki M, Akima H, Takahashi H, Okumoto T, Fukunaga T and Katsuta S. (1994). Increase of muscle oxidative capacity after sprint-training in human (Abstract) *Med Sci Sports Exerc (Suppl)* 25:5: p549.
- 34- Larsson L, Ansved T, Edström L, Gorza L and Schiaffino S. (1991). Effects of age on physiological, immunohistochemical and biochemical properties of fast-twitch single motor units in the rat. *J Physiol (Lond.)* 443: 257-275.
- 35- Nachlas MM, Tsou KG, De Sousa E, Cheng CS and Seligman AM. (1957). Cytochemical demonstration of succinic dehydrogenase by the use of a new p-nitrophenyl substituted dietrazole. *J Histochem Cytochem* 5: 420-436.
- 36- Riedy M, Moore RL and Gollnick PD. (1985). Adaptive response of hypertrophied skeletal muscle to endurance training. *J Appl Physiol* 59: 127-134.
- 37- Romanual FCA. (1965). Capillary supply and metabolism of muscle fibres. *Archives of Neurology* 12: 497-509.
- 38- Saltin B, Henriksson J, Nygaard E and Andersen P. (19677). Fibre types and metabolic potentials of skeletal muscles in sedentary men and endurance runners. *Ann NY Acad Sci* 310: 3-29.
- 39- Saubert IV CW, Armstrong RB, Shepherd RE and Gollnick PD. (1973). Anaerobic enzyme adaptations to sprint training in rats. *Pflügers Arcn* 341:

- 305-312.
- 40- Schantz P. (1986). Plasticity of human skeletal muscle. *Acta Physiol Scand* (Suppl. 558) 128: 1-62.
 - 41- Söderlund K, Greenhaff PL and Hultman E. (1992). Energy metabolism in type I and type II human muscle fibers during short term electrical stimulation at different frequencies. *Acta Physiol Scand* 144: 15-22.
 - 42- Staudte HW, Exner GU and Pette D. (1973). Effects of short term high intensity (sprint) training on some contractile and metabolic characteristics of fast and slow muscle of the rat. *Pflügers Arch* 344: 159-168.
 - 43- Tarnopolsky LJ, MacDougall JD, Atkinson SA, Tarnopolsky MA and Sutton JR. (1990). Gender differences in substrate for endurance exercise. *J Appl Physiol* 68: 302-308.
 - 44- Tech P and Karlsson J. (1985). Muscle fiber types and size in trained and untrained muscles of elite athletes. *J Appl Physiol* 59: 1716-1720.
 - 45- Tech PA, Thorstensson A and Fujitsuka N. (1989). Creatine phosphate in fiber types of skeletal muscle before and after exhaustive exercise. *J Appl Physiol* 66: 1756-1759.
 - 46- Thorstensson A, Larsson L, Tech P and Karlsson J. (1977). Muscle strength and fiber composition in athletes and sedentary men. *Med Sci Sports* 9 (1): 26-30.
 - 47- Thorstensson A, Sjödin B and Karlsson J. (1975). Enzyme activities and muscle strength after "sprint training" in man. *Acta Physiol Scand* 94: 311-318.
 - 48- Van Der Laarse WJ, Diegenbach PC and Maslam S. (1984) Quantitative histochemistry of three mouse hind-limb muscles: the relationship between calcium-stimulate myofibrillar ATPase and succinate dehydrogenase activities. *Histochem J* 16: 529-541.
 - 49- Van Der Laarse WJ, Diegenbach PC and Maslam S. (1986). Relationship between myofibrillar ATPase and ATP concentration: A quantitative histochemical study on mouse fast and slow skeletal muscle fibres. In: Estimation of contractile properties of mouse skeletal muscle fibres. Doctoral Thesis, Amsterdam University, pp. 51-58, Amsterdam.