



## Spor Performansında Aktivasyon Sonrası Potansiyasyon (PAP)

Akan BAYRAKDAR<sup>1</sup>, Şeyma Nur ERDEM<sup>2</sup>, Oğuz GÜRKAN<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Antalya-Türkiye, <https://orcid.org/0000-0002-3217-0253>

<sup>2</sup>Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Antalya-Türkiye, <https://orcid.org/0009-0002-8228-2373>

<sup>3</sup>Yozgar Bozok Üniversitesi, Yozgat-Türkiye, <https://orcid.org/0000-0001-5886-4758>

### To cite this article/ Atf için:

Bayrakdar, A., Erdem, Ş. E., ve Gürkan, O. (2024). Spor performansında aktivasyon sonrası potansiyasyon (PAP). *Uluslararası Bozok Spor Bilimleri Dergisi*, 5(3), 128-140.

### Özet

Bu çalışmanın amacı aktivasyon sonrası potansiyasyon (PAP) ile ilgili mevcut bilgileri derleyerek incelemektir. PAP'ın mekanizmaları, performansa etkileri ve spor uygulamaları üzerindeki rolü detaylı bir şekilde analiz edilerek spor bilimleri literatürüne katkıda bulunulması hedeflenmektedir. PAP'ın yorgunluk ile ilişkisi, antrenman protokollerine entegrasyonu ve bireysel farklılıklar üzerindeki etkileri ele alınacaktır. Çalışma, sporcuların performansını artırmaya yönelik stratejilerin geliştirilmesine zemin hazırlamayı amaçlamaktadır. Araştırmalar PAP'ın sıçrama, sprint, kuvvet ve dayanıklılık gibi performanslarda etkilerinin olduğunu belirtmektedir. Bu etkilerin birçoğunun süreye bağlı olarak farklılık gösterdiği literatürde ifade edilmektedir. Yapılan araştırmalar kuvvetli bireylerde PAP etkisinin daha belirgin olduğunu göstermektedir. Özellikle plyometrik KA ve daha az derin çömelme hareketlerinin PAP etkisini artırdığı gözlemlenmiştir. Bu durum kas liflerinin daha etkin bir şekilde potansiyel üretebilmesi için gerekli koşulları sağlamaktadır. Bununla birlikte PAP'ın fonksiyonel performans açısından önemi ve uzun vadeli etkileri hala tam olarak anlaşılabilmemiştir ve bu konuda daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.

**Anahtar kelimeler:** Aktivasyon Sonrası Potansiyasyon (PAP), Yorgunluk, Dinlenme, Antrenman Stratejileri

## Post-Activation Potentiation (PAP) in Sports Performance

### Abstract

The aim of this study is to compile and analyze the existing knowledge on post-activation potentiation (PAP). By examining the mechanisms of PAP, its effects on performance, and its role in sports applications in detail, this study seeks to contribute to the sports sciences literature. The relationship between PAP and fatigue, its integration into training protocols, and its effects on individual differences will be addressed. The study aims to lay the groundwork for the development of strategies to enhance athletes' performance. Research indicates that PAP affects performance metrics such as jumping, sprinting, strength, and endurance. The literature highlights that many of these effects vary depending on time. Studies show that PAP effects are more pronounced in stronger individuals. Particularly, plyometric exercises and less deep squat movements have been observed to enhance the PAP effect. This creates favorable conditions for muscle fibers to generate potential more effectively. However, the functional significance of PAP in terms of performance and its long-term effects are not yet fully understood, necessitating further research in this area.

**Keywords:** Post-Activation Potentiation (PAP), Fatigue, Recovery, Training Strategies

## GİRİŞ

Kuvvet üretiminin devamlılığı hareketin başarısı için oldukça önemlidir. İskelet kasının kuvvet üretimi kasın antrene durumuna bağlıdır ve sporcularda akut aktivitelere gözlemlenebilir (Hunter, 2014). Kas yorgunluğu, motivasyon, kan akışı ve lif bileşimi perspektiflerinden sporcular arasındaki farklılıklar önceki aktivitenin kuvvetin azalmasına neden olduğu durumlarda sinirsel ve kasılma tepkileri yoluyla anlaşılabilir (Wüst ve ark., 2008).

Kasılma geçmişi kuvvet çıktısını artırabilir ve PAP olarak tanımlanır (MacIntosh ve ark., 2012). PAP belirli bir uyarı için önceden yapılan istemli aktivasyon nedeniyle artırılmış bir kasılma yanıtıdır. Önceki istemli aktivasyona koşullandırıcı kasılma denir. PAP koşullandırıcı bir kasılmadan sonra kasılma yanıtının genliğindeki artışın ölçülmesiyle doğrulanmaktadır (Tomaras ve Macintosh, 2011). PAP kavramı önceki kasılma olaylarının sonucu olarak kas performansının akut olarak arttığı bir olguyu tanımlar (Tillin ve Bishop, 2009). PAP ön yüklemeli bir egzersizin ardından kas gücü üretiminde ve muhtemel olarak performansta meydana gelen akut bir artışı tanımlayan bir fizyolojik olgudur (Chiu ve ark., 2003). İskelet kaslarından PAP'ın varlığı insanlarda yapılan birçok çalışmada kaydedilmiştir (Grange ve ark., 1993). Son zamanlardaki derleme çalışmalarda PAP'ın mekanizmaları (Hodgson ve ark., 2005) ve sportif performans uygulaması üzerine tartışmalara yol açmıştır. PAP etkili bir şekilde kullanılırsa pliometrik egzersizin antrenman uyarımını artırmak için bir güç antrenmanı rutinine uygulanabilir. Müsabakalardan önce PAP'ı çalışmak sıçrama, kuvvet ve sprint gibi patlayıcı spor aktivitelerinin performansını artırmada geleneksel ısınma tekniklerinden daha iyi olabilir (Güllich ve Schmidthleicher, 1996). Literatürdeki tutarsızlıklar nedeniyle PAP'ın patlayıcı spor performansına veya antrenmana olası faydaları konusunda araştırmalar kesin bir sonuca varamamıştır. Geçmiş araştırmaların tutarsızlıkları büyük olasılıkla kondisyonlama kasılmasından (KK) sonra akut performansı etkileyen faktörlerin karmaşık etkileşiminden kaynaklanmaktadır (Docherty ve Hodgson, 2007).

Bu kapsamda çalışmanın amacı aktivasyon sonrası potansiyasyon (PAP) ile ilgili mevcut bilgileri derleyerek incelemektir. PAP'ın mekanizmaları, performans etkileri ve spor uygulamaları üzerindeki rolü detaylı bir şekilde analiz edilerek spor bilimleri literatürüne katkıda bulunulması hedeflenmektedir. PAP'ın yorgunluk ile ilişkisi, antrenman protokollerine entegrasyonu ve bireysel farklılıklar üzerindeki etkileri ele alınacaktır. Çalışma sporcuların performansını artırmaya yönelik stratejilerin geliştirilmesine zemin hazırlamayı amaçlamaktadır.

## YÖNTEM

### Araştırma Amacı ve Modeli

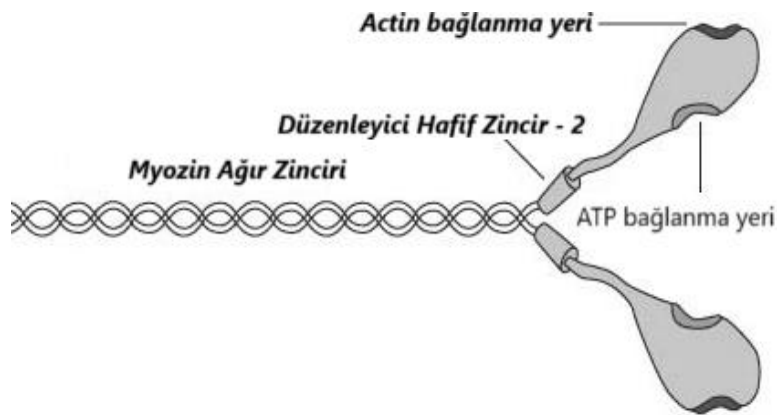
Tek başına veya çeşitli çalışma metodolojilerinin temel bir parçası olarak geleneksel literatür incelemeleri, bir konu veya temayla ilgili mevcut bilginin teorik ve bağlamsal olarak tanımlanmasını içerir. Bu çalışmada spor performansında aktivasyon sonrası potansiyasyonun rolünün araştırılması amaçlanmıştır. Bu araştırmada ilgili literatürde yer alan kitaplar, dergi makaleleri, meta-analiz araştırmaları ve sistematik derlemeler detaylı bir şekilde incelenmiştir. Literatür taramasında EBSCOhost, PubMed and Google Scholar veri tabanlarından yararlanılmıştır.

## PAP'ın Mekanizmaları

Harmancı ve arkadaşlarının (2017) aktardığına göre literatürde fizyolojik olarak sportif performansta PAP sonucu meydana gelen artışı açıklayan 3 teoriden bahsedilmiştir. Birinci teoride; önceki uyarımın miyozinin düzenleyici hafif zincirini fosforilize edeceği, onları miyozinin kalın gövdesinden hareket ettirerek aktinin ince filamenlerine yaklaştıracığı ve aynı zamanda sarkomer içindeki etkileşimleri kolaylaştıran  $Ca^{+2}$  iyonuna olan duyarlılığı arttıracığı ifade edilmiştir (Lima ve ark., 2014; Tillin ve Bishop, 2009). İkinci teoride; ön yüklemeli hazırlık çalışmalarının sinaptik kavşakta ve omurilik kord seviyelerinde uyarılma potansiyellerinin geçirgenliğini arttırmada sorumlu olabileceği belirtilmiştir (Lima ve ark., 2014). Üçüncü teoride ise; güçlendirilmiş bir uyarımın kastaki pennat açıda azalma meydana getireceği ve bunun sonucu olarak kas fibrilinden gücün tendona daha doğrudan aktarılmasına izin vererek güç ve kuvvette artışa neden olabileceği ifade edilmiştir (Lima ve ark., 2014; Tillin ve Bishop, 2009).

**1. Düzenleyici Hafif Zincirlerin Fosforilasyonu:** İlk teori, şartlandırma egzersizinden sonra miyozin düzenleyici hafif zincirlerinin (RLC) fosforilasyonunda bir artış olduğunu ileri sürmektedir. Miyozin-aktin etkileşimlerinin hassasiyetini artırır ve bu da çapraz köprü döngü oranında bir artışa yol açabilir. Bu değişiklik kuvvet-hız eğrisinde sağa doğru bir kaymaya neden olarak daha yüksek yüklerle daha hızlı hareketlere izin verebilir (Tillin ve Bishop, 2009).

PAP'ın posttetanik potansiyasyona (PTP) benzer olduğunu anlamak bu iki mekanizmanın da kas gücü üretimindeki rolünü ve performansla olan etkilerini incelemek açısından önemlidir. "Activity dependent potentiation" terimi PAP ve PTP dahil olmak üzere kas aktivasyonuna dayalı potansiyasyon mekanizmalarının tamamını tanımlamak için kullanılabilir.



Şekil 1. Bir miyozin molekülü (Tillin ve Bishop, 2009)

Bir miyozin molekülü iki ağır zincirden oluşan bir hekzamerdir. Her ağır zincirin amino terminalleri bir fosfat molekülünün dahil edilmesi için özel bir bağlanma yerine sahip iki RLC içerir. Bu mekanizma hücre içindeki serbest kalsiyum iyonu [ $Ca^{2+}$ ] düzeyindeki artışla aktive olan miyozin hafif zincir kinazı (MLCK) ile ilişkilidir (Grange ve ark., 1993). Bu süreç miyozin başının yapısını değiştirerek ve onu kalın filament omurgasından uzaklaştırarak sonraki kasılmaları güçlendirir. İskelet kasının terminal cisternlerinden salınan  $Ca^{2+}$  kasılmanın

başlamasıyla paralel bir şekilde MLCK'yı aktive eder. Bu aktivasyon miyozin düzenleyici hafif zincirlerinin fosforilasyonu ile PAP'ın ortaya çıkmasına yol açar. Fosforile olan bu zincirler aktin ve miyozin filamentlerinin kalsiyuma duyarlılığını artırır (Lee Sweeney ve ark., 1993). Dolayısıyla bu süreç kas kasılmasının daha güçlü ve etkili olmasına katkıda bulunur. Miyozin düzenleyici hafif zincirlerin fosforilasyonu miyozin başlarının hareketliliğini artırarak (Levine ve ark., 1996) kas aktivasyonu ile köprülerin oluşma hızını yükseltir. Bu artış kasın kuvvet üretimini ve etkinliğini artırarak kasın genel performansını olumlu yönde etkiler. Artan köprü oluşum hızı kuvvet gelişimini de paralel olarak artırarak bu mekanizmaların spor performansındaki önemini ortaya koyar (Sweeney ve Stull, 1990). Sonuç olarak, RLC fosforilasyonunun en büyük etkisi twitch veya düşük frekanslı tetanik kasılmalar sırasında olduğu gibi, nispeten düşük  $Ca^{2+}$  konsantrasyonlarında görülür. Bu durum kasın genel performansını olumlu yönde etkileyerek kuvvet üretiminde ve etkinlikte artış sağlar.

Her miyozin molekülü iki miyozin ağır zincirinden oluşur (Şekil 1). Düzenleyici hafif zincir (RLC)-2 bir miyozin başının boynunda konumlanmış bir çift RLC'yi temsil eder. Her RLC miyozin başının yapısını değiştirerek bir fosfat molekülü içerebilir. Her miyozin başında bir aktin ve adenozin trifosfat (ATP) bağlanma yeri bulunur.

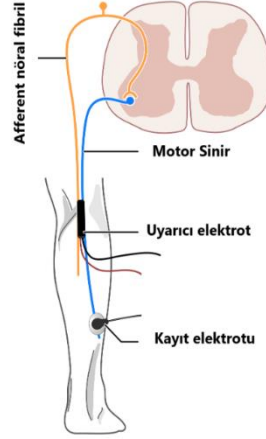
Hayvansal modeller üzerinde yapılan deneylerde RLC fosforilasyonunda akut bir artış ve spesifik eferent sinir liflerinin tetanik uyarılmasının ardından twitch gerginliğinde paralel bir güçlenme olduğu bildirilmiştir (Szczena ve ark., 2002; Vandenboom ve ark., 1993). Bu bulgular RLC fosforilasyonunun kas kuvveti gelişimindeki rolünü ve kasın daha yüksek bir uyarana verdiği yanıtın etkinliğini vurgulamaktadır. Stuart ve arkadaşları (1988) vastus lateralis kasında RLC'nin önemli ölçüde artmış fosfat içeriğini ( $p<0,01$ ) ve 10 saniyelik izometrik maksimal istemli kasılmanın (MVC;  $p<0,05$ ) ardından diz ekstansörlerinin twitch gerginliğinde anlamlı bir güçlenme kaydetmiştir. Ayrıca seğirme güçlenmesinin kapsamı ile ayrı ayrı RLC ünitelerine dahil edilen fosfat miktarı arasında ve güçlenme ile tip II kas liflerinin yüzdesi arasında pozitif ancak anlamlı olmayan bir korelasyon bulunmuştur ( $p>0,05$ ). Bu sonuçlar RLC fosforilasyonunun özellikle hızlı kasılan tip II kas liflerinin performansı üzerindeki etkisini ve bireysel farklılıkların önemini göstermektedir.

RLC fosforilasyonunun etkisi sadece kasın kuvvetini artırmakla kalmaz, aynı zamanda kasın kasılma hızı ve dayanıklılığını da etkiler. Bu kasın daha düşük kalsiyum seviyelerinde bile daha güçlü bir yanıt verebilmesini sağlar ve böylece atletik performans sırasında kasın verimliliğini artırır. Özellikle bu fosforilasyon süreci yüksek yoğunluklu egzersizler veya patlayıcı güç gerektiren aktivitelerde önemli bir avantaj sağlar. Bu mekanizmanın anlaşılması sporcuların antrenman programlarının optimize edilmesine ve kas performansının artırılmasına yönelik stratejiler geliştirilmesine katkıda bulunabilir.

Ek olarak insan iskelet kası üzerinde yapılan araştırmalar RLC fosforilasyonunun belirli kas tipleri arasında farklı etkiler gösterebileceğini de ortaya koymuştur. Örneğin tip I (yavaş kasılan) ve tip II (hızlı kasılan) kas liflerinin RLC fosforilasyonuna verdiği tepkiler arasında belirgin farklar bulunabilir. Bu durum sporcuların ve bireylerin kişisel özelliklerine göre özelleştirilmiş antrenman programlarının önemini vurgulamaktadır.

**2. Daha Yüksek Dereceli Motor Ünitelerinin Artırılmış Katılımı (H Refleks):** H Refleks veya Hoffmann refleksi (Hoffmann işareti veya parmak fleksör refleksi) kortikospinal

sistemden kaynaklanan sorunların varlığını veya yokluğunu doğrulamaya yardımcı olabilecek bir refleks testi ile ortaya çıkan nörolojik muayene bulgusudur. Hoffmann refleksi, monosinaptik bir refleks olup alt motor nöron fonksiyonunu değerlendirmenin güvenilir bir yolunu temsil eder. Tibial sinirin doğrudan elektriksel uyarımı, soleus kasında iki kez twitch oluşmasına neden olur. Sinir uyarıldığında, bileşik aksiyon potansiyelleri (CAP'ler) üretilir ve motor lifler boyunca iki yönde hareket eder: kaslara doğru "aşağı" ve motor sinire doğru "yukarı" omurgaya yönelir.



Şekil 2. H Refleks

PAP'tan sorumlu olduğu düşünülen ikinci teori, bir koşullandırma egzersizinden sonra birkaç nörolojik mekanizmanın uyarılmasıdır. Bir koşullandırma egzersizi sonrasında deneyimlenen bazı nöral yanıtlar arasında H-refleks potansiyasyonu, motor ünite senkronizasyonunda artış, alfa motor nöron girdisinin duyarsızlaşması ve antagonistik kasların karşılıklı inhibisyonunda azalma yer alır (Crum ve ark., 2012). Bununla birlikte H-refleks potansiyasyonu en baskın nöral mekanizma gibi görünmektedir (Trimble ve Harp, 1998). H-refleks bir kasın uyarılabilirlik seviyesinin elektromiyografik (EMG) ölçümüdür. Basitçe söylemek gerekirse daha yüksek H-refleksleri daha yüksek uyarılabilirlikle ilişkilidir.

H-refleksi ilgili sinir demetinin tek darbeli submaksimal uyarımına yanıt olarak afferent bir sinir impuls dizisi (volley) sonucudur. Yeterli iyileşme ile PAP H-refleks genliğini artırır. Bu durumun omurilikte yüksek sıralı motor nöronların artan katılımından kaynaklandığı düşünülmektedir (Tillin ve Bishop, 2009). Bu nedenle yüksek sıralı motor nöronların artan katılımı daha hızlı ve daha güçlü bir kas kasılmasına yol açar ve bu da performansın artmasıyla sonuçlanır.

**3. Pennasyon Açısındaki Değişiklikler:** Son yıllarda literatürde üçüncü bir teori ortaya çıkmıştır (Mahfeld ve ark., 2004). Bu teori bir kondisyon egzersizinden sonra kas liflerinin pennasyon açısında bir azalma olduğunu göstermektedir. Kasın pennasyon açısındaki bir azalma kasılma sırasında tendondan ve sonunda kemiğe daha fazla kuvvet iletilebileceği anlamına gelir. Bu durum daha güçlü bir kasılma daha iyi bir performans anlamına gelir (Folland ve ark., 2008). Ancak bu teoriyi destekleyen çok az araştırma vardır. Bu nedenle daha doğru varsayımlarda bulunulabilmesi için daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir (Tillin ve Bishop, 2009).

Kas lifi pennasyon açısı ve fizyolojik kesit alanı hakkındaki veriler, kas kuvvetlerini tahmin etmek için kas-iskelet modellemesinde kullanılır ve bu kuvvetler eklem temas kuvvetlerini

hesaplamak için kullanılır. Bacak için kas mimarisi verileri, kas yüzeyinde pennasyon açısını ölçen ancak kasın derinliklerinde ölçmeyen çalışmalardan elde edilir. Eklem temas yüklerini tahmin etmek için geliştirilen kas-iskelet modelleri genellikle pennasyon açısının ve fizyolojik kesit alanının ortalama değerlerine dayanmaktadır.

### **PAP ve Mekanik Güç**

Patlayıcı spor aktivitelerinin performansı büyük ölçüde mekanik güç tarafından belirlenir (Stone ve ark., 2003). Mekanik güç kuvvetin (F) belirli bir hareket aralığı (d) boyunca belirli bir zaman periyodunda (t) [ $P=d/t$ ] veya kuvvetin hızla (v) çarpılması [ $P=F*v$ ] olarak tanımlanır (Stone ve ark., 2003). Bu ifadelerle göre belirli bir hızda kuvvet seviyesini artırmak mekanik gücü artıracaktır (Grange ve ark., 1993). Benzer şekilde belirli bir kuvvetin uygulandığı süreyi o kuvvetin uygulandığı mesafeyi değiştirmeden azaltmak hızı ve dolayısıyla mekanik gücü artıracaktır. Bu nedenle PAP, kas kasılmasının kuvvetini ve hızını artırarak mekanik güç ile ilişkili sportif performansı geliştirecektir.

PAP'ın maksimum kuvveti artırabileceğine dair çok az kanıt bulunmaktadır. Yetersiz kanıtlar mizozin-aktin etkileşiminin  $Ca^{2+}$  ya karşı artan duyarlılığının daha yüksek uyarım frekanslarının (tetanik için >20 hz veya istemli kasılmalar için 200 hz) neden olduğu  $Ca^{2+}$  satürasyonu koşullarında çok az veya hiç etkisinin olmadığı bulgusuyla tutarlıdır (Abbate ve ark., 2000). Diz ekstansörlerinin 10 saniyelik izometrik MVC sonraki dinamik kasılmaların maksimum serbest hızını (veya yük altında olmayan maksimum kasılma hızını) artırmamaktadır. Bu bulgu izometrik kasılmaların belirli bir sürenin ardından yapılan dinamik hareketlerde kas hızını etkilemediğini gösterir (Stuart ve ark., 1988). PAP'ın varlığı konusunda genel bir fikir birliği olsa da performans ve antrenmanda etkili kullanımı için önce PAP'ın izometrik veya dinamik istemli kasılmalarla tetiklenebileceği doğrulanmalıdır. Sonrasında faydalarının patlayıcı spor aktiviteleri sırasında gözlemlenebileceği gösterilmelidir. Ancak PAP'ın ve patlayıcı spor aktivitelerinin performans üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmalar tutarsızdır. Ayrıca PAP'ın nöromüsküler yanıtı artırma mekanizmaları hakkında çok az bilgi bulunmaktadır.

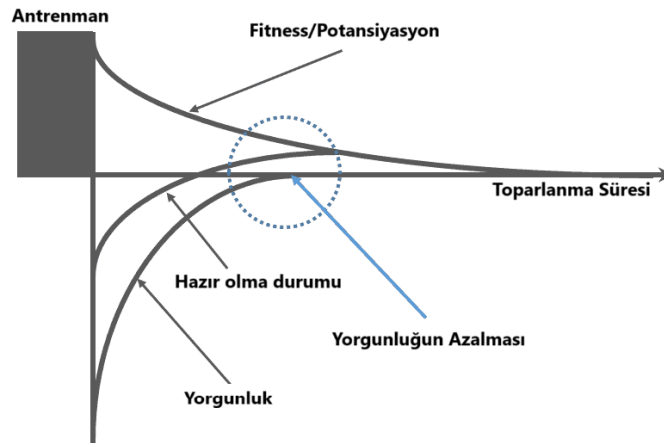
### **PAP'ın Sonraki Aktivite Üzerindeki Akut Etkileri**

Patlayıcı spor aktivitelerinin performansı ağırlıklı olarak büyük kas gruplarının aktivasyonuna dayanmaktadır. Bu nedenle PAP'ın daha küçük kas grupları üzerindeki etkisini değerlendiren çalışmalar aşağıdaki bölümlerden hariç tutulmuştur. Dahası maksimum veya submaksimum yoğunluktaki kasılmaların (dinamik veya izometrik MVC'nin %80'inden fazlası) PAP'ı optimize ettiği gösterilmiştir (Saez Saez de Villareal ve ark., 2007). Hamada ve arkadaşları (2000) tarafından yapılan bir çalışmada diz ekstansörlerinin 10 saniyelik izometrik maksimum kasılmasından (MVC) önce ve sonrasında twitch tepe torku ölçülmüştür. Araştırmaya göre MVC'den 5 saniye sonra twitch tepe torku %71 oranında artmış ve bu artış istatistiksel olarak anlamlı olduğu ( $p<0,01$ ) bulunmuştur. Ancak 30 ve 60 saniye sonra bu artış sırasıyla %44 ve %31'e düşmüştür ve potansiyasyonun etkisi iyileşme süreciyle daha kademeli bir şekilde azalmaya devam etmiştir. Bu bulgular PAP'ın hemen ardından en yüksek seviyeye ulaştığını ancak hızlı bir şekilde azalmaya başladığını göstermektedir. PAP'daki azalma ilk dakika içinde hızlı bir şekilde gerçekleşmekte ancak daha sonra zamanla daha yavaş bir şekilde azalma eğilimi göstermektedir. İzometrik bir MVC'nin ardından twitch torkunu artırma etkisi

bulunsa da PAP'ın istemli kasılmaların performansını artırmadığı gösterilen bazı çalışmalar da vardır. Gossen ve Sale (2000) yaptığı bir çalışmada 10 saniyelik izometrik MVC'nin ardından hem twitch hem de submaksimal istemli kasılmaların hareket mekaniği değerlendirilmiştir. Sonuçlar MVC'nin twitch torkunu artırmasına rağmen diz ekstansiyonunun tepe hızının kontrol grubuna göre anlamlı derecede düşük olduğunu göstermiştir ( $p<0,03$ ). Bu bulgular 10 saniyelik izometrik MVC'nin PAP'ı tetiklemesine rağmen aynı zamanda yorgunluk yaratabileceğini ve yorgunluğun gönüllü kasılmalar üzerindeki etkisinin daha baskın olduğunu ortaya koymaktadır. Bu nedenle PAP ile yorgunluk arasındaki denge sonraki kasımlarda performans artışının olup olmayacağını belirleyen önemli bir faktör olarak kabul edilmektedir.

### PAP ve Yorgunluk

PAP ile yorgunluk arasındaki ilişki ve sonraki patlayıcı kasılmalar üzerindeki etkisi birçok çalışmada gözlemlenmiştir. PAP'ın sonraki performansı iyileştirebileceği kanıtlanmıştır ve CMJ gibi egzersizlerin bunu yapmada etkili olduğu kabul edilmektedir (Yetter ve Moir, 2008). Örneğin CMJ'nin ardından birkaç dakika içinde dikey sıçrama performansında iyileşmeler gözlemlenmiştir (Weber ve ark., 2008). Ancak kondisyon egzersizi ve performans egzersizi arasında yeterli dinlenme süresi sağlanması gerektiği açıkça belirtilmiştir. Yetersiz dinlenme süresi olduğunda performansta artış olmayabilir (Kilduff ve ark., 2007). Bu durum genellikle önceki kondisyon egzersizinden kalan yorgunluğun sonucudur.



Şekil 3. Fitness-Yorgunluk Modeli (Potansiyasyon ve Yorgunluk)

Babault ve ark. (2006) yapmış oldukları çalışmada yorgunluğun türünün (izometrik veya dinamik kasılma) merkezi sinir sistemi üzerindeki etkilerinin farklılaştığı gözlemlenmiştir; yorgunluk merkezi sinir sisteminde merkezi veya çevresel olarak ortaya çıkabilir. Ancak bu etkinin nasıl gerçekleştiği henüz tam olarak anlaşılmamıştır. Egzersiz uzmanlarının Post-Activation Potentiation (PAP) etkilerinden faydalanarak daha etkili antrenman programları oluşturabilmeleri için bu konuda daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.

### Dinlenme süresi PAP'ı nasıl etkiler?

Kondisyon egzersizlerinin nöromüsküler sistemi güçlendirdiği gösterilmektedir. Ayrıca bu egzersizlerin daha önce zindelik-yorgunluk modeliyle açıklanan bir yorgunluk düzeyine de neden olduğu bilinmektedir. Bu etkiler birçok araştırmada yaygın olarak rapor edilmiştir. Bir çalışmada kondisyon egzersizinden hemen sonra performansta bir düşüş yaşandığı ancak 4,5-12,5 dakikalık bir toparlanma sürecinin ardından performansta önemli bir artış gözlemlendiği

bildirilmiştir (Gullich ve Schmidtbleicher, 1996). Araştırmacılar aynı zamanda performanstaki bu başlangıçtaki bu düşüşü yorgunlukla ilişkilendirmiştir. Zindelik-yorgunluk ilkesi 12,5 dakikalık bir dinlenme süresinden sonra güçlenmenin kondisyon egzersizinin başlangıç seviyesine geri dönmesiyle performansın normalleştiğini öne sürmektedir. Bu nedenle PAP'ın etkilerinin ortaya çıkabilmesi için doğru dinlenme süresi önemlidir. Uygun bir dinlenme süresi yorgunluğun güçlenmeyi maskeleymesini engelleyebilir. Dinlenme süresi ile toparlanma arasında optimum bir denge kurmak etkili sonuçlar elde etmek için gereklidir (Tillin ve Bishop, 2009). Birçok çalışma hangi dinlenme süresinin etkili olduğunu belirlemek amacıyla farklı dinlenme sürelerini araştırmışlardır (Bevan ve ark., 2010; McCann ve Flanagan, 2010; Kilduff ve ark., 2008) fakat bu konuda araştırmacılar arasında ortak bir fikir birliği bulunmamaktadır.

PAP üzerine yapılan incelemelerin çoğunun uygun dinlenme süresi konusunda net bir sonuç gösterememesi bu durumu daha da karmaşık hale getirmektedir (Ebben, 2006; Kilduff ve ark., 2008). Ayrıca DeRenne (2020) tarafından yapılan bir inceleme 8-12 dakikalık dinlenme sürelerini önermiştir. Ancak bu süreyi belirleme konusunda sürekli olarak yaşanan zorluk sporcular arasındaki bireysel farklılıklardan kaynaklanmaktadır. Sonuç olarak her sporcunun kendine özgür bir toparlanma süresi vardır. Farklı popülasyonlar arasında optimum dinlenme sürelerinin farklılık gösterdiği iyi bilinmektedir. Antrenmanlı sporcuların PAP etkilerine antrenmansız bireylere kıyasla daha duyarlı olduğu gösterilmiştir (Chiu ve ark., 2003). Benzer şekilde daha yüksek güç seviyelerine sahip bireylerin de daha düşük kuvvet seviyesine sahip olanlara göre PAP'a daha duyarlı olduğu gözlemlenmiştir (Gourgoulis ve ark., 2003). Yüksek kuvvet oranlarına sahip bireylerin de PAP etkilerine daha duyarlı olduğu görülmüştür (Schneiker ve ark., 2006). Bu araştırmaların sonuçları PAP etkilerini en üst düzeye çıkarmak için çalışılan sporcu grubunun özelliklerini anlamının büyük önem taşıdığını göstermektedir. Ayrıca kondisyon egzersizinin türü, yoğunluğu ve hacmi de potansiyasyonun etkisini değiştirebilir çünkü bu faktörler yorgunluk seviyesini doğrudan etkiler. Bu durum doğru antrenman yönergeleri sağlamayı zorlaştırır. Güç ve kondisyon antrenörlerinin antrenman programlarını tasarlarken karar vermelerini daha karmaşık hale getirir. DeRenne (2010) tarafından yapılan bir inceleme 8-12 dakikalık dinlenme sürelerini önerse de birçok çalışma 3-12 dakika arasında dinlenme süresinin performans iyileşmesine etki edeceğini bildirmiştir (Turner ve ark., 2015; Young ve ark., 1998; Rixon ve ark., 2007; French ve ark., 2003). Bu bulgular sadece araştırmaların bir kısmını temsil etmektedir. PAP etkilerinden yararlanmak için en etkili dinlenme süresinin 3-12 dakika aralığında olabileceği önerilebilir.

Sonuç olarak dinlenme süresi, büyük ölçüde sporcunun kondisyon egzersizine ve antrenman durumuna (antrenmanlı ve antrenmansız) bağlıdır. Bu nedenle her sporcuya özel olarak uyarlanmalıdır. Bu bağlamda uzmanlar genellikle aşağıdaki genel yönergeleri kullanarak çalışmalıdırlar.

- 3-12 dakika dinlenme
- Yüksek yoğunluk/ ağır yük (örn. %90RM) = daha uzun dinlenme süresi
- Düşük yoğunluk/ hafif yük (örn. %30RM squat sıçramaları/ pliometrik) = daha kısa dinlenme süresi
- Yüksek hacimli setler = daha uzun dinlenme süresi
- Düşük hacimli setler = daha kısa dinlenme süresi



- Antrenmanlı sporcular = daha kısa dinlenme süresi
- Antrenmansız sporcular = daha uzun dinlenme süresi
- Daha güçlü sporcular = daha kısa dinlenme süresi
- Daha zayıf sporcular = daha uzun dinlenme süresi

### **PAP oluşturmak için optimal yoğunluk**

PAP'ı tetiklemek için en uygun egzersiz yoğunluğu konusunda araştırmalarda ciddi bir fikir ayrılığı vardır. Bazı araştırmalar egzersizi daha düşük bir yoğunlukta (%60 yükle) yapmanın mı yoksa daha yüksek bir yoğunlukta (%95 yükle) yapmanın mı PAP etkisini daha iyi başlatacağını incelemektedir. Başka bir ifadeyle ağır (yüksek yoğunlukta) mı yoksa daha hafif (daha düşük yoğunlukta) ağırlıklarla çalışmanın PAP açısından daha etkili olup olmadığı tartışılmaktadır. Araştırmalardaki bu yoğunluk tutarsızlıkları PAP'ı tetiklemek için ideal bir antrenman yoğunluğu belirlemeyi ve bu konuda öneriler sunmayı zorlaştırmaktadır. Birçok araştırma ağır yüklerin en etkili yoğunluklar gibi görüldüğünü belirtse de (Ebben, 2006; Robbins, 2005) yaklaşık %90 yoğunlukla üç tekrarlı maksimum (3RM) arka çömelme yapmak %50 yoğunlukla 10 tekrarlı maksimum (10RM) arka çömelme yapmaktan daha güçlü bir PAP tepkisi oluşturabilir. Bu nedenle %80 civarı yük kullanımının PAP'ı tetiklemek için en etkili yöntemlerden biri olduğu düşünülmektedir.

Son yıllarda araştırmacılar hafif yüklerle yüksek hızda yapılan egzersizleri de incelemiştir. Hafif arka çömelme (%40 ve 1RM), sıçrayarak çömelme ve pliometrik egzersizler bu kapsamda değerlendirilmiştir. Ancak bu araştırmaların büyük bir bölümü hafif yükle yapılan yüksek hızlı egzersizlerin PAP'ı tetiklemek için ağır yüklerle yapılan egzersizlere kıyasla etkili bir yol olmadığını göstermiştir (Esformes ve ark., 2010; Hanson ve ark., 2007). Bunun nedeni hafif yüklerin yüksek frekanslı kuvveti artırmaması nedeniyle motor ünitelerinin hızlı bir şekilde deşarj olamamasıdır (Sale, 2002).

### **SONUÇ**

PAP'ın, dikey sıçrama (CMJ) ve sprint gibi sonraki atletik performansları sürekli olarak iyileştirdiği kanıtlanmıştır. Kondisyon egzersizleri performansı artırsa da bu etkinin ancak başlangıçtaki yorgunluk azaldığında fark edilebileceği belirtilmiştir (fitness-yorgunluk teorisi). Optimum dinlenme süresi konusunda ise henüz bir fikir birliği yoktur. Şu anda 3-12 dakika arası dinlenme önerilse de bu süre sporcuya göre özel olarak ayarlanmalıdır. Egzersiz uzmanları ayrıca kondisyon egzersizlerinin türünü, yoğunluğunu ve hacmini dikkate almalıdır. Bu faktörler hem yorgunluğun hem de potansiyasyonun büyüklüğünü etkiler. Genellikle biyomekanik açıdan benzer ve yüksek yükle yapılan (10 tekrardan az, <10RM) egzersizler en iyi PAP etkisini sağlar. Direnç antrenmanı yapmış sporcular PAP etkilerine karşı daha hassastır ve bu potansiyasyonu antrenmansız bireylere göre daha kısa bir dinlenme süresiyle elde edebilirler. Araştırmalar PAP etkilerinin oldukça kişisel olduğunu ve egzersiz programlamasında herkese uyan tek bir çözüm' olmadığını vurgulamaktadır.

### **KAYNAKLAR**

Abbate, F., Sargeant, A. J., Verdijk, P. W. L., & De Haan, A. (2000). Effects of high-frequency initial pulses and posttetanic potentiation on power output of skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology*, 88(1), 35-40. <https://doi.org/10.1152/jappl.2000.88.1.35>

- Babault, N., Desbrosses, K., Fabre, M. S., Michaut, A., & Pousson, M. (2006). Neuromuscular fatigue development during maximal concentric and isometric knee extensions. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, *100*(3), 780–785. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00737.2005>
- Bevan, H. R., Cunningham, D. J., Tooley, E. P., Owen, N. J., Cook, C. J., & Kilduff, L. P. (2010). Influence of postactivation potentiation on sprinting performance in professional rugby players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *24*(3), 701–705. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181c7b68a>
- Chiu, L. Z. F., Fry, A. C., Weiss, L. W., Schilling, B. K., Brown, L. E., & Smith, S. L. (2003). Postactivation potentiation response in athletic and recreationally trained individuals. *National Strength & Conditioning Association Research*, *17*(4). <http://journals.lww.com/nsca-jscr>
- Crum, A. J., Kawamori, N., Stone, M. H., & Haff, G. G. (2012). The acute effects of moderately loaded concentric-only quarter squats on vertical jump performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *26*(4), 914–925. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318248d79c>
- DeRenne, C. (2010). Effects of postactivation potentiation warm-up in male and female sport performances: A brief review. *Strength and Conditioning Journal*, *32*(6), 58–64. <https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e3181f412c4>
- Docherty, D., & Hodgson, M. J. (2007). The application of postactivation potentiation to elite sport. In *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *2*(4), 439–444. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2.4.439>
- Ebben, W. P. (2006). A brief review of concurrent activation potentiation: theoretical and practical constructs. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *20*(4), 985–991. <https://doi.org/10.1519/R-19375.1>
- Esformes, J. I., Cameron, N., & Bampouras, T. M. (2010). Postactivation potentiation following different modes of exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *24*(7), 1911–1916. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181dc47f8>
- Folland, J. P., Wakamatsu, T., & Fimland, M. S. (2008). The influence of maximal isometric activity on twitch and H-reflex potentiation, and quadriceps femoris performance. *European Journal of Applied Physiology*, *104*(4), 739–748. <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0823-6>
- French, D. N., Kraemer, W. J., & Cooke, C. B. (2003). Changes in dynamic exercise performance following a sequence of preconditioning isometric muscle actions. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *17*(4), 678–685. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2003\)017<0678:cidepf>2.0.co;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2003)017<0678:cidepf>2.0.co;2)
- Gossen, E. R., & Sale, D. G. (2000). Effect of postactivation potentiation on dynamic knee extension performance. *European Journal of Applied Physiology*, *83*(6), 524–530. <https://doi.org/10.1007/s004210000304>
- Gourgoulis, V., Aggeloussis, N., Kasimatis, P., Mavromatis, G., & Garas, A. (2003). Effect of a submaximal half-squats warm-up program on vertical jumping ability. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *17*(2), 342–344. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2003\)017<0342:eoashw>2.0.co;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2003)017<0342:eoashw>2.0.co;2)

- Grange, R. W., Vandenboom, R., & Houston, M. E. (1993). Physiological significance of myosin phosphorylation in skeletal muscle. *Canadian Journal of Applied Physiology*, *18*(3), 229-242.
- Gullich, A., & Schmidtbleicher, D. (1996). MVC-induced short-term potentiation of explosive force. *New Studies in Athletics*, *2*(11), 67-81.
- Hamada, T., Sale, D. G., MacDougall, J. D., & Tarnopolsky, M. A. (2000). Postactivation potentiation, fiber type, and twitch contraction time in human knee extensor muscles. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, *88*(6), 2131–2137. <https://doi.org/10.1152/jappl.2000.88.6.2131>
- Hanson, E. D., Leigh, S., & Mynark, R. G. (2007). Acute effects of heavy- and light-load squat exercise on the kinetic measures of vertical jumping. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *21*(4), 1012–1017. <https://doi.org/10.1519/R-20716.1>
- Harmancı, H., Karavelioğlu, M. B., Ersoy, A., Yüksel, O., Erzeybek, M. S., & Başkaya, G. (2017). Post Aktivasyon Potansiyel (PAP) ve Statik Germe modeli ısınmalarının sıçrama performansına etkisi. *Sportif Bakış: Spor ve Eğitim Bilimleri Dergisi*, *4*(2), 56-68. <https://dergipark.org.tr/en/pub/sbsebd/issue/31517/345377>
- Hodgson, M., Docherty, D., & Robbins, D. (2005). Post-activation potentiation: underlying physiology and implications for motor performance. *Sports medicine*, *35*, 585-595. <https://doi.org/10.2165/00007256-200535070-00004>
- Hunter, S. K. (2014). Sex differences in human fatigability: Mechanisms and insight to physiological responses. *Acta Physiologica*, *210*(4), 768–789. <https://doi.org/10.1111/apha.12234>
- Kilduff, L. P., Bevan, H. R., Kingsley, M. I., Owen, N. J., Bennett, M. A., Bunce, P. J., Hore, A. M., Maw, J. R., & Cunningham, D. J. (2007). Postactivation potentiation in professional rugby players: optimal recovery. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *21*(4), 1134–1138. <https://doi.org/10.1519/R-20996.1>
- Kilduff, L. P., Owen, N., Bevan, H., Bennett, M., Kingsley, M. I., & Cunningham, D. (2008). Influence of recovery time on post-activation potentiation in professional rugby players. *Journal of Sports Sciences*, *26*(8), 795–802. <https://doi.org/10.1080/02640410701784517>
- Lee Sweeney, H., Bowman, B. F., Stull, J. T., Lee, H., & Stull Myosin, J. T. (1993). Myosin light chain phosphorylation in vertebrate striated muscle: regulation and function. *American Journal of Physiology-Cell Physiology*, *264*(5). <https://doi.org/https://doi.org/10.1152/ajpcell.1993.264.5.C1085>
- Levine, R. J. C., Kensler, R. W., Yang, Z., Stull, J. T., & Sweeney, H. L. (1996). Myosin light chain phosphorylation affects the structure of rabbit skeletal muscle thick filaments. *Biophysical Journal*, *71*(2), 898–907. [https://doi.org/10.1016/S0006-3495\(96\)79293-7](https://doi.org/10.1016/S0006-3495(96)79293-7)
- Lima, L. C. R., Oliveira, F. B. D., Oliveira, T. P., Assumpcao, C. D. O., Greco, C. C., Cardozo, A. C., & Denadai, B. S. (2014). Postactivation potentiation biases maximal isometric strength assessment. *BioMed Research International*, *2014*(1), 126961. <https://doi.org/10.1155/2014/126961>
- MacIntosh, B. R., Robillard, M. E., & Tomaras, E. K. (2012). Should postactivation potentiation be the goal of your warm-up? *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*, *37*(3), 546–550. <https://doi.org/10.1139/H2012-016>

- Mahlfeld, K., Franke, J., & Awiszus, F. (2004). Postcontraction changes of muscle architecture in human quadriceps muscle. *Muscle & Nerve*, 29(4), 597–600. <https://doi.org/10.1002/mus.20021>
- McCann, M. R., & Flanagan, S. P. (2010). The effects of exercise selection and rest interval on postactivation potentiation of vertical jump performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(5), 1285–1291. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181d6867c>
- Rixon, K. P., Lamont, H. S., & Bembem, M. G. (2007). Influence of type of muscle contraction, gender, and lifting experience on postactivation potentiation performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(2), 500–505. <https://doi.org/10.1519/R-18855.1>
- Robbins, D. W. (2005). Postactivation potentiation and its practical applicability: a brief review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(2), 453–458. <https://doi.org/10.1519/R-14653.1>
- Saez Saez de Villarreal, E., González-Badillo, J. J., & Izquierdo, M. (2007). Optimal warm-up stimuli of muscle activation to enhance short and long-term acute jumping performance. *European Journal of Applied Physiology*, 100, 393–401. <https://doi.org/10.1007/s00421-007-0440-9>
- Sale, D. G. (2002). Postactivation potentiation: role in human performance. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 30(3), 138–143. <https://doi.org/10.1097/00003677-200207000-00008>
- Schneiker, K., Billaut, F., & Bishop, D. (2006). The effects of preloading using heavy resistance exercise on acute power output during lower-body complex training [abstract]. Book of Abstracts of the 11th Annual Congress, European College of Sports Science, 2006 Jul 5-8, Lausanne, 89
- Stone, M. H., O'Bryant, H. S., McCoy, L., Coglianese, R., Lehmkuhl, M., & Schilling, B. (2003). Power and maximum strength relationships during performance of dynamic and static weighted jumps. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 17(1), 140–147.
- Stuart, D. S., Lingley, M. D., Grange, R. W., & Houston, M. E. (1988). Myosin light chain phosphorylation and contractile performance of human skeletal muscle. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 66(1), 49–54. <https://doi.org/10.1139/y88-009>
- Sweeney, H. L., & Stull, J. T. (1990). Alteration of cross-bridge kinetics by myosin light chain phosphorylation in rabbit skeletal muscle: Implications for regulation of actin-myosin interaction. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 87(1), 414–418. <https://doi.org/10.1073/pnas.87.1.414>
- Szczesna, D., Zhao, J., Jones, M., Zhi, G., Stull, J., & Potter, J. D. (2002). Phosphorylation of the regulatory light chains of myosin affects Ca<sup>2+</sup> sensitivity of skeletal muscle contraction. *Journal of Applied Physiology*, 92(4), 1661–1670. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00858.2001>
- Tillin, N. A., & Bishop, D. (2009). Factors modulating post-activation potentiation and its effect on performance of subsequent explosive activities. *Sports Medicine*, 39(2), 147–166. <https://doi.org/https://doi.org/10.2165/00007256-200939020-00004>

- Tomaras, E. K., & Macintosh, B. R. (2011). Less is more: standard warm-up causes fatigue and less warm-up permits greater cycling power output. *Journal of Applied Physiology*, *111*, 228–235. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00253.2011>
- Trimble, M. H., & Harp, S. S. (1998). Postexercise potentiation of the H-reflex in humans. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *30*(6), 933–941. <https://doi.org/10.1097/00005768-199806000-00024>
- Turner, A. P., Bellhouse, S., Kilduff, L. P., & Russell, M. (2015). Postactivation potentiation of sprint acceleration performance using plyometric exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *29*(2), 343–350. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000647>
- Vandenboom, R., Grange, R. W., & Houston, M. E. (1993). Threshold for force potentiation associated with skeletal myosin phosphorylation. *American Journal of Physiology-Cell Physiology*, *265*(6), 456–462. <https://doi.org/10.1152/ajpcell.1993.265.6.C1456>
- Weber, K. R., Brown, L. E., Coburn, J. W., & Zinder, S. M. (2008). Acute effects of heavy-load squats on consecutive squat jump performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *22*(3), 726–730. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181660899>
- Wüst, R. C. I., Morse, C. I., Haan, A., Rittweger, J., Jones, D. A., & Degens, H. (2008). Skeletal muscle properties and fatigue resistance in relation to smoking history. *European Journal of Applied Physiology*, *104*(1), 103–110. <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0792-9>
- Yetter, M., & Moir, G. L. (2008). The acute effects of heavy back and front squats on speed during forty-meter sprint trials. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *22*(1), 159–165. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31815f958d>
- Young, W.B., Jenner, A., Griffiths, K. (1998). Acute enhancement of power performance from heavy load squats. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *12*(2), 82–84. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(1998\)012<0082:AEOPPF>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(1998)012<0082:AEOPPF>2.3.CO;2)