

MOTOR BECERİ ÖĞRENİMİNDE KAS KO-AKTİVASYON VE REKÜRRENT İNHİBİSYON AKTİVİTESİNİN FONKSİYONEL ÖNEMİ

Deniz ŞİMŞEK¹, Hayri ERTAN¹

¹Anadolu Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi

Geliş Tarihi: 20.02.2014

Kabul Tarihi: 05.08.2014

Özet: Merkezi sinir sisteminin hareket mekanizmalarından biri olan kas ko-aktivasyonu, bir eklem etrafındaki iki ya da daha fazla kasın eş zamanlı aktivasyonu ile karakterize edilmektedir. Gerçekleştirilen araştırmalarda, kas ko-aktivasyon düzeyinin sporcuların beceri düzeyine göre farklılaştığı ifade edilmektedir. Ayrıca, belli beceri düzeyine sahip sporcular kendi spor disiplinlerine özgü düşük seviyeli kassal ko-aktivasyonu içeren, spesifik kas aktivasyon kalıbı (pattern) sergilemektedirler. Elit sporcuların, orta düzey ve başlangıç düzeyindeki sporculardan farklı aktivasyon-gevşeme ve/veya da ko-aktivasyon stratejisine sahip oldukları gerçekleştirilen araştırmalarla ortaya koyulmuştur. Elit sporcularda ortaya çıkan bu farklı kassal aktivasyon stratejisi, spesifik hareket kalıbının öğrenilmesi ile spinal ve supraspinal düzeylerde meydana gelen değişimlerin sonucudur. Spesifik hareket kalıbının öğrenilmesi, Rekürrent aktivite (antrenman, günlük aktiviteler) ile gerçekleşmekte ve kas ko-aktivasyonunda azalmaya neden olmaktadır. Bu derleme çalışmasının amacı, rekürrent inhibisyon ve ko-aktivasyon motor kontrol biçimlerinin spor performansı açısından fonksiyonel önemini tartışmaktır.

Anahtar Kelimeler: Kas aktivasyonu; Refleks; Spor Performansı.

FUNCTIONAL SIGNIFICANCE OF MUSCLE CO-ACTIVATION AND RECURRENT INHIBITION ACTIVITY AT MOTOR SKILL LEARNING

Abstract: Muscle co-activation which is one of the central nervous system's action mechanisms is a phenomenon characterised by simultaneous activation of two or more muscles around a joint. Previous studies have reported that muscle co-activation levels could be different in athletes of different skill levels. In addition, skilled athletes should show a specific muscle activation pattern with a low level of co-activation of muscles which are typically involved in their discipline. Recent research suggests that high-level athletes (elite) have a different activation-relaxation and/or co-activation strategies than those of beginner and intermediate level athletes. Skilled athletes should show a different muscular-activation strategy, which is the result of changes in the spinal and supraspinal levels by mastering a specific movement pattern. Recurrent activity help acquire a specific movement pattern and causes a decrease in muscle co-activation. The purpose of the review is to discuss the functional significance of recurrent inhibition and co-activation modes of motor control on sporting performance.

Key Words: Muscle Activation; Reflex, Sports Performance.

GİRİŞ

Sağlıklı bireylerde agonist ve antagonist kasın ko-aktivasyonu, bireylerin fonksiyonel aktiviteleri gerçekleştirirken hareketin verimliliğine yar-

dımcı olan normal bir strateji olarak düşünülmektedir. Ancak bazı durumlarda hareketin verimliliğini arttırmaksızın, hareketin stabilitesine ve/veya da doğruluğuna yardım eden normal olmayan bir

* Bu çalışma Anadolu Üniversitesi tarafından desteklenmiştir. (Proje No: Anadolu/BAP 1001S40)

strateji olarak ele alınmaktadır. Ko-aktivasyon sadece agonist ve antagonist çiftleri arasında değil, zaman zaman bir kas çifti içinde bir dizi faktöre bağlı olarak değişmektedir. Kassel aktivasyonun derecesi, gerçekleştirilen aktivitenin gerekliliklerine ve bireyin yeteneğine bağlı olarak merkezi sinir sistemi içerisinde ayarlanmaktadır (1,4). Kompleks ve ince kontrol gerektiren yeni bir becerinin öğrenilmesi sırasında ko-aktivasyon artmaktadır (3,6). Ancak gerçekleştirilen antrenmanlar sonucunda, öğrenme ilerledikçe ko-aktivasyon değerlerinde azalma gözlenmektedir. Azalan ko-aktivasyonun motor becerinin başarılı olduğunun bir göstergesi olduğu ileri sürülmektedir (7,9). Ko-aktivasyon düzeyindeki bu azalma rekürrent aktivite (antrenman, günlük aktiviteler) ile gerçekleşmektedir. Herhangi bir motor becerinin öğrenilmesi sırasında gereksiz kassel aktivitenin ilerleyen inhibisyonu ile mevcut olan en ekonomik koordinasyon stratejisi kazanılır (2) Antagonist kasların azalan ko-aktivasyon düzeylerinin motor öğrenmenin bir sonucu olarak veya da motor beceri edinimine özgü olarak ortaya çıktığı ifade edilebilir (3). Bu nedenle, belirli bir beceri düzeyine sahip sporcular gerçekleştirdikleri spor branşının içerdiği kas gruplarının düşük düzeydeki ko-aktivasyonu ile spesifik kassel aktivasyon kalıbı sergilemektedirler (2,3). Gerçekleştirilen araştırmalarda, yüksek beceri düzeyine sahip sporcuların başlangıç ve orta düzeydeki sporcularla karşılaştırıldıklarında farklı kassel aktivasyon-gevşeme ve/veya da ko-aktivasyon stratejisine sahip oldukları ileri sürülmektedir (10,2,11,12). Ertan ve ark.'nın gerçekleştirdikleri araştırmada, okçuluk sporuna yeni başlayan sporcular ile elit okçuların atış performansları arasında farklılıklar gözlenmiştir (10). Temel farklılık; elit okçuların atış sırasında, m. extensor digitorum (MED)'u aktif olarak işe katmadan, m. flexor digitorum superficialis (MFDS)'i ise gevşeterek yanıt vermesidir. Bu kassel kasılma stratejisi, kırışın çekiş gücüne bağlı olarak yayın öne doğru hızlanıp hareket etmesini önlemektedir. Oysa okçuluk sporuna yeni başlayan sporcular MFDS'i aktif olarak devreye soktuklarından dolayı, yayı parmaklarıyla sıkıca kavramaktadırlar, sıkıca kavranan yay, tork ortaya çıkarmakta ya da ok serbestlendiği zaman yayın bükülmesine neden olmaktadır. Bu durum ise hedefe olan skoru azaltmaktadır. Elit okçuların hedefe olan skorlarının yüksek olmasının sebeplerinden biri ön kol kaslarındaki doğru kassel kasılmanın gerçekleştirilmesidir (10).

Bazzucchi ve ark (2008) ise elit ve elit olmayan tenisçilerin maksimal izometrik kasılma sırasında m. biceps brachii ve m. triceps brachii'nin antagonist aktivasyon değerlerini karşılaştırmışlardır. Araştırma sonucunda elde edilen bulgularda elit tenisçilerin, triceps brachii kaslarının biceps brachii kaslarına göre daha düşük antagonist kassel aktiviteye sahip olduğu saptanmıştır (2). Araştırma sonucunda elde edilen bulgularda elit tenisçilerin izometrik dirsek fleksiyonları sırasında m. triceps brachii'nin daha düşük antagonist kassel aktiviteye sahip olduğu gösterilmiştir (2). Futbol ve voleybol oyuncularının spor branşına özel alt ekstremite hareket kalıbı gerçekleştirmelerine yönelik yapılan araştırmalar bu oyuncuların spesifik kassel kasılma-gevşeme tekniği sergilediklerini göstermektedir (11,12) ve elde edilen bu sonuç, Bazzucchi ve ark. (2008)'nin araştırma sonucunu destekler niteliktedir.

İfade edilen bu araştırmalar, belirli bir beceri düzeyine sahip sporcuların kendi spor disiplinlerine özgü olan düşük seviyeli kassel ko-aktivasyon ile spesifik kas aktivasyon kalıbı sergiledikleri yönündedir. Antrenman düzenlemeleri, gerçekleştirilen motor beceri ve farklı kaynaklardan sağlanan biofeedback eğitimleri spinal ve supraspinal döngülerin yeniden organizasyonunu sağlamaktadır. Bu organizasyon, elde edilmek istenen kassel aktivasyon stratejisi üzerinde etkiye sahip olabilir. Kısacası, spor branşına özgü motor beceri uygulamaları ile sağlanan sinir-kas adaptasyonlarını etkilerini açıklamak spor performansı açısından büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle bu derleme çalışmasında, rekürrent inhibisyon ve ko-aktivasyon motor kontrol biçimlerinin spor performansı açısından fonksiyonel önemi tartışılacaktır.

Motor Ünitelerin Nöral Kontrol Mekanizması

İskelet kaslarının kasılmaları, omirilik ve beyin sapındaki "alt" motor nöronlar tarafından başlatılmaktadır. Alt motor nöronların hücre gövdeleri omiriliğin gri maddesinin ön boynuzuna yerleşmiştir. α -Motor nöron (α -MN) olarak da adlandırılan bu nöronlar aksonlarını iskelet kaslarına gönderirler. Alt motor nöronlar, duyuşal nöronlardan direkt (doğrudan) impuls (uyarı) alırlar ve beyin sapı ve omirilikte önemli duyuşal-motor refleksleri yönetirler. Bu nedenle alt motor nöronlar, çeşitli kaynaklardan iskelet kaslarına nöral bilgi ilettiği için "son ortak yol" olarak ifade edilmektedir.

Daha yüksek merkezlerden inen yollar “üst” motor nöronların aksonlarını içermektedir (kortikospinal ve kortikobulbar) ve lokal döngüye etki ederek alt motor nöronların aktivitesini düzenlemektedir. Üst motor nöronların hücre gövdeleri hem beyin korteksi (cortex cerebri) hem de vestibular çekirdekler, colliculus superior ve formatio reticularis gibi beyin sapı merkezlerine yerleşmiştir (13,14).

Motor Ünite ve Devreye Girme Prensipleri

Motor korteks output hücrelerinden, α -MN'lara inen merkezi motor emirler, α -MN'ları ateşlemektedir. Tek bir motor nöron (MN) uyarıldığında, α -MN tarafından innerve edilen bir grup kas fibrili (kas birimi) eş zamanlı kasılmaktadır. Tek bir kas fibrili ve bunu innerve eden α -MN, “motor ünite” olarak ifade edilmektedir. Kaslar büyüklükleri ve eşikleri değişiklik gösteren çok sayıda motor ünitelerden oluşmaktadır (15). Ayrıca, tek bir motor ünitelerin aktivitesi ile ilişkili görsel ya da işitsel geribildirimle, bireylere belli bir zaman dilimi içerisinde motor ünitelerini devreye sokarak aktive etmeleri öğretilmektedir (16).

Motor ünitelerin devreye girme prensibi “size prensibi” olarak bilinmektedir. Daha yüksek motor merkezlerden dereceli komut sinyalleri omirilikteki α -MN havuzuna gelmekte ve nöron havuzu tarafından innerve edilen iskelet kaslarında dereceli güç artışına neden olmaktadır. Bu eksitator uyarı, size prensibine göre eş zamanlı şekilde tüm α -MN havuzuna eşit olarak yayılmaktadır (17). Ancak motor nöronlar hücre gövdelerinin büyüklüklerine göre devreye girdikleri için daha küçük motor nöronlar daha büyük sinaptik input almakta ve depolarizasyon eşiklerine daha büyük motor nöronlardan önce ulaşmaktadır. Motor performans açısından bu durum ele alındığında; sırayla devreye girme, motor hareketin gerçekleştirilmesi sırasında pürüzsüz ve orantılı olarak güç artışını kolaylaştırmaktadır (17,18).

Motor Kontrole Sensör Sürecin Katkıları ve Alfa-Gama Ko-aktivasyon

Merkezi sinir sistemi (MSS), gerçekleştirilen hareket hakkında sürekli olarak geri bildirim almaktadır. Bu bilgi kasların uzunluk ve gerilimindeki değişim miktarı ile ilişkilidir (19). Kas

iğcikleri kasların uzunluk ve kasılma hızları ile ilişkili değişimleri, golgi tendon organı ise kasın geriliminde meydana gelen değişimleri algılamaktadır. Kas iğciği Ia (primer) ve II (sekonder) afferent duysal nöron grupları aracılığıyla yanıt vermektedir. Grup Ia afferentlerin homonim motor nöronlar üzerinde ateşleme oranlarını arttırmaları gerilmeye, II ise hız değişimine karşı koyan bir kasılmayla sonuçlanmaktadır (20).

Golgi tendon organları, bir dizi kas fibriline bağlıdır ve Ib afferent fibriller aracılığıyla kaslarda ortaya çıkan gerilim hakkında geri bildirim sağlamaktadır. Motor nöron aktivasyon kalıbının ayarlanması için nöral sinyallerin yanıtları omiriliğe, beyin sapına ve somatik duysal kortekse geri dönmekte ve kas kasılmasına yardımcı olmaktadır. Üst merkezlerden geri gelen bilgi, zaman kaybetmeden tüm motor nöron havuzuna aynı anda ulaştırılmaktadır (21,22).

Mortor korteks ve beyinin diğer bölgeleri, sinyalleri α -MN'lara gönderdiği zaman, γ -MN'lar eş zamanlı olarak uyarılmaktadır. Alfa-gama ko-aktivasyon olarak ifade edilen bu sistem, intrafuzal ve ektrafuzal fibrillerin eş zamanlı olarak kasılmasına neden olmaktadır. Eğer alfa ve gama sistemler eşzamanlı uyarılırsa ve intrafuzal ile ektrafuzal fibriller eşit olarak kasılırsa, kas iğciğinin uyarılma derecesi değişmemektedir. Ancak ektrafuzal fibriller daha büyük bir yüke karşı çalıştıklarında daha az kasılırlar, bu uyumsuzluk kas iğciğinin gerilmesine neden olmaktadır ve sonuç olarak meydana gelen gerilme refleksi, yükün üstesinden gelebilmesi için ektrafuzal fibrillerin ekstra ekstasyonuna neden olmaktadır (20).

Agonist Antagonist Ko-aktivasyon ve Stiffness (Sertlik)

Ko-aktivasyon istemli kasılma sırasında meydana gelen antagonist kas aktivitesidir. Sıklıkla ko-aktivasyon ve ko-kontraksiyon olarak ifade edilmektedir (2). Ko-aktivasyon aynı eklemdede etkili olan agonist ve antagonist kasların eş zamanlı aktivitesi ile belirlenmektedir ve kasların sertliğinin (uygulanan yük altında kasın uzunluk artışına direnci) artmasına neden olmaktadır (4). Kas sertliğindeki artış, aktive edilen çapraz köprülerin sayısının artmasının bir sonucudur (22). Bu durum, hareket sırasında agonist-antagonist kasların motor ünitelerinin aktivasyonu ile açıklanabilir. Bu kont-

rol döngüsü, agonist-antagonist kas gruplarının hem ko-aktivasyonuna hem de resiprokal aktivasyonuna izin vermektedir. Kas ko-aktivasyonu, agonist ve antagonist kasların ayrı ayrı sertliklerinin toplamı olan eklem sertlik ve stabilitesini artırdığı için hızlı hareketler sırasında yavaş hareketlere göre daha büyük ko-aktivasyon meydana geldiği ifade edilmektedir (23,24). Kasal ko-aktivasyonun derecesi, gerçekleştirilen aktivitenin gereklerine ve bireyin göreceli yeterliliğine bağlıdır. Effektör organın optimum kullanımının gerçekleştirilebilmesi için kas aktivasyon kalıbı MSS içinde ayarlanabilmektedir. Belirli miktardaki ko-aktivasyon eklem stabilitesinin sağlanması açısından özellikle kompleks ve hızlı hareketlerde gereklidir. Ko-aktivasyon yeni bir becerinin öğrenilmesi sırasında artmakta, öğrenme ilerledikçe azalmaktadır (4). Gerçekleşen bu azalma rekürrent aktivite (antrenman, günlük aktiviteler) sonucu ortaya çıkmaktadır. Böylece, yeni bir becerinin öğrenilmesi sırasında, görevi başarmak için gereksiz kasal aktivitenin ilerleyen inhibisyonu ile mevcut olan en ekonomik koordinasyon stratejisinin kazanılmasını sağlanmaktadır (2).

Kas Aktivasyon Kalıbının MSS İçinde Ayarlanması ve Motor Ünitelerin "Common Drive Mekanizması"

Agonist ve antagonist çiftinin ko-aktivasyon kalıbı "common drive" mekanizması ile merkezi olarak yürütülmektedir. Üst merkezlerden gelen bilginin zaman kaybetmeden tüm motor nöron havuzuna aynı anda ulaşması olarak ifade edilen "common drive" mekanizması ile agonist ve antagonist kaslar MSS tarafından tek bir havuzdan ve aynı işi gerçekleştiriyorlarmış gibi kontrol edilmektedir (24). Diğer araştırmacılar tarafından da desteklenen bu durum MSS'nin motor üniteleri kontrol etmek için nispeten çok basit bir stratejiye sahip olduğunu göstermektedir (25,26,27). Her bir motor sistem ayrı ayrı kontrol edilmek yerine MSS'i motor nöron havuzunun eksitasyonuna neden olmaktadır. Tüm motor üniteler tarafından alınan common drive, motor nöronların input/output karakteristikleri ile ilişkili olarak her bir motor nöron için tek tek ateşleme paternine çevrilmiştir (28).

Üst merkezlerden inen yollar aracılığı gelen afferent bağlantılar gerekli bilgiyi motor nöronlara aktarırken α -motor nöronlarla basit (monosinaptik)

yada kompleks (polisinaptik) bağlantılar yapmaktadır. Bu sinapsların hepsi eksitatördür (29). Bununla birlikte, eğer MSS inhibitör mekanizmaya sahip olmasaydı, sürekli akan bu eksitasyon istenmeyen hareketlere neden olabilirdi.

Antagonist Kasın İnhibisyonuna Katkı Sağlayan Farklı Spinal Yollar

Motor nöronlar üzerine doğrudan kortikospinal inhibitör bağlantılar yoktur ve antagonistlerin inhibisyonu birkaç spinal inhibitör yolağın aktivasyonundan kaynaklanmaktadır (30). MSS'nin inhibitör mekanizmaları incelendiğinde bu döngülerden ilki, "resiprokal inhibisyon" olarak bilinmektedir (31).

Resiprokal inhibisyon, inhibitör Ia ara nöronları içeren bir döngüdür. Ia inhibitör ara nöronlar lamina VII'nin ventralinde, aynı Ia inputu alan motor hücrenin hemen dış kısmına yerleşmiştir. Aksonları, funiculus lateralis ya da funiculus anterior aracılığı ile aynı ya da birkaç segment uzaktaki hedef motor nöronlara ulaşabilir. İnhibitör transmitter olarak Glisin salgılayan Ia inhibitör ara nöronlar üç karakteristik özelliğe sahiptir: (1) Ia afferentlerden monosinaptik input alması, (2) Ia input'u oluşturan antagonist kasların motor nöronlarıyla bağlantıya sahip olması ve (3) aynı monosinaptik Ia eksitasyonu alan bu motor nöronlarla disinaptik rekürrent inhibisyona sahip olması (30).

Resiprokal Ia İnhibisyon

Resiprokal inhibisyon fleksiyon-ekstansiyon hareketi sırasında antagonistleri inhibe ettiği en iyi bilinen spinal mekanizmadır ve çok yoğun bir şekilde araştırılmıştır. Resiprokal inhibisyon hem germe refleksinde hem de istemli hareketler sırasında işe yaramaktadır. Hareket sırasında antagonistlerin gevşemesi hız ve verimi artırır, çünkü kasılan kaslar, karşı koyan kas gruplarının kasılmalarına karşı çalışmak durumunda kalmazlar. Germe refleksindeki Ia inhibitör ara nöronlar istemli hareket sırasında hareketlerin koordinasyonuna da katkıda bulunurlar. Ara nöronlar motor korteksten inen aksonların kollaterallerinden input alırlar. Bu aksonlar spinal motor nöronlar üzerinde doğrudan sinaptik bağlantılar yapmaktadırlar. Bu organizasyonel özellik, istemli hareketlerin kontrolünü basitleştirir, çünkü ara nöronlara yapılan bu bağlantılar sayesinde yüksek merkezlerin istemli hareket sırasında amaçlanan harekete karşı koya-

çak olan kasları inhibe etmek üzere ayrıca emirler göndermesi gerekmeyeceği için istemli hareketlerin kontrolünü basitleştirir (32).

Diğer negatif geri bildirim döngüsü Renshaw hücrelerini içermektedir. Normal koşullar altında motor nöronların senkronize uyarılmalarının azaltılması ve aşırı deşarj olmalarının engellenmesinin Renshaw hücrelerinin fonksiyonu olduğuna inanılmaktadır (17).

Motor akson rekürrent kollateralleri tarafından uyarılan Renshaw hücreleri, motor aksonlar arasında Lamina VII'nin daha çok ventral kısmında yer almaktadır. Bu yerleşim yeri "Renshaw hücre alanı" olarak belirlenmiştir. Renshaw hücreleri motor nöron akson kolleteralleri yolu ile yüksek-frekanslı deşarj olma yeteneğine sahiptir ve bu fizyolojik tespitlerinde anahtar bir özelliktir (33). Gerçekleştirilen araştırmalarda motor akson kollateralleri ile Renshaw hücreleri arasında kolinerjik sinapsların olduğu saptanmıştır (34). Renshaw hücreleri, α -motor nöronların yanı sıra, gama motor nöronlarla (35), resiprokal Ia inhibitör ara nöronlarla (antagonist α -MN'lar arasındaki resiprokal inhibisyonu yürütmektedir), tractus spinocerebellaris anterior'un köken aldığı nöronlarla (36) ve diğer Renshaw hücreleriyle (37) de sinaps yapmaktadırlar. Renshaw hücrelerinin karşılıklı bağlantıları, spinal ve supraspinal input, motor ünitelerin deşarj değişkenliğini etkileyen oldukça kompleks bir sistem sunmaktadır (38,18).

Rekürrent İnhibisyon

Rekürrent inhibisyon, α -MN'in uyarılmasıyla ortaya çıkan bir yoldur. Motor nöronlar, akson kolleteralleri ile Renshaw hücrelerini uyarırlar ve bu hücrenin bir dalı ana motor nörona geri dönerek sinaps yapar. Bu yol içindeki motor nöron eksitasyonu kendisi üzerinde inhibitör etkiye sahiptir. Bu durum ters etkili görünmesine rağmen, rekürrent inhibisyon somada eksitasyon ve inhibisyonların net toplamından oluşmaktadır (38). Ayrıca rekürrent inhibisyon, (1) eşik altı sınırlarındaki motor nöronları inhibe ederek motor nöronların deşarjlarını sınırlamakta, (2) tonik olarak ateşleyen motor nöronlardaki deşarj frekanslarını stabilize etmekte, (3) hızlı kasılmalar sırasında yavaş kasılan kas fibrillerinin motor nöronlarını inhibe etmekte (4) motor nöronların deşarj patternlerinin senkronizasyonunu sağlamakta ve (5) motor nöron deşarjlarının kısa süreli senkronizasyonunu arttırmaktadır

(36). Bu durum Renshaw hücrelerinin aktif motor nöronlarındaki motor akson kollaterallerinden input almasının yanı sıra, zayıf kasılmalar sırasında kolaylaştırıcı, güçlü kasılmalar sırasında inhibe edici olduğu sonucuna ulaştırmaktadır (39,40).

Rekürrent inhibisyonda temel olarak eksten-sörler hedef alınmaktadır. Ayrıca, fleksör ve ekstensörlerin eksitasyonu arasındaki denge korunmaktadır. Hultborn ve ark. (2004), antagonist Ia inhibitör ara nöronların inhibisyonu ile, Renshaw hücrelerinin antagonist ve agonist kasların ko-aktivasyonuna yardımcı olduğunu göstermiştir. Renshaw hücreleri diğer ara nöronlarla birlikte hem inen hem de çıkan inputların bütünleşmesini sağlar. Vestibular sistemin, Renshaw hücrelerinin inhibisyonu ile postürü kontrol ettiği ve rekürrent inhibisyonun hareketin nöral kontrolünde önemli rol oynadığı ifade edilmektedir (42).

SONUÇ

Ko-aktivasyon ile sertlik kontrolü sağlanmaktadır. Ayrıca ko-aktivasyon sistemi, özellikle yeni bir motor becerinin öğrenilmesi sırasında iki önemli fonksiyonu gerçekleştirmektedir; 1) diğer eklemlerde meydana gelen hareketleri destekleyerek, postural dayanak sağlamak zorunda olan eklemleri sabitleştirir, 2) kas sertliğini kontrol ederek postürde ya da bir eklem hareketinde tahmin edilemeyen tork dağılımının etkilerini ortadan kaldırır. Ortaya çıkan bu etkiler agonist ve antagonist kaslara common drive mekanizması ile merkezi olarak yürütülmektedir (24). Diğer yolların, common drive'dan bağımsız ya da common drive ile birlikte ko-aktivasyonu yürüttüğü ifade edilebilir. Özellikle, Renshaw hücrelerinin Ia inhibitör ara nöronları inhibe etmesi ve Ib afferent ara nöronların eksitasyonuna neden olması ko-aktivasyon düzeyinin azaltılmasındaki yolaklardır. Reflekslerle yönetilen bu gerilim ayarlama süreci eğitilebilmektedir. Bu eğitim, antrenmanlar sonucu gerçekleşen rekürrent ve resiprokal aktiviteyi içermektedir. Bu bağlamda, yeni bir becerinin öğrenilmesi sırasında antagonist kasların artan ko-aktivasyonu beceri öğreniminin erken evresinde önem taşımaktadır (4). Belirli miktardaki ko-aktivasyon eklem stabilitesinin sağlanması açısından özellikle kompleks ve hızlı hareketlerde gerekli olmasına rağmen, aşırı aktivasyon hareketin bozulmasına neden olmaktadır. Ko-aktivasyonun bu olumsuz etkisi

öğrenme ilerledikçe azalmaktadır. Sporcu, spor branşına özgü motor beceriyi uygulayıp uzmanlaştıkça, başlangıçtaki artan ko-aktivasyon düzeylerinde azalmalar gözlenmektedir. Gerçekleştirilen araştırma sonuçları (2,10,11,12), belli bir beceri düzeyine sahip sporcuların kas gruplarının düşük düzeydeki ko-aktivasyonu ile spesifik kassal aktivasyon kalıbı sergilediklerini desteklemektedir.

Spor performansı açısından bu durum ele alındığında; spor branşına özgü motor becerinin başarılı olabilmesi için gereksiz kassal aktivitenin ilerleyen inhibisyonunun sağlanması gerekmektedir. Bu durum sağlandığında, mevcut olan en ekonomik koordinasyon stratejisinin kazanılabileceği ifade edilebilir. Motor öğrenme sırasında resiprok, rekürrent aktivasyon sistemi ve somatik duyuşal geri bildirim kusursuz kontrolü altında kazanılan bu koordinasyon stratejisinin, büyük olasılıkla; (1) düzgün, kontrollü eklem hareketi ve geri bildirim üretilmesinde ve (2) eklem hareket kontrol sistemindeki uygun olmayan komutların ortaya çıkardığı hareket hatalarının büyüklüğünün azaltılmasında ve de (3) nöral refleks yollarının kronik olarak adapte olması sonucu motor öğrenme sürecinin etkili bir şekilde kullanılabilmesi düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Andrade, R., Araújo, R.C., Tucci, H.T., Martins, J., Oliveira, A.S. "Coactivation of the shoulder and arm muscles during closed kinetic chain exercises on an unstable surface", *Singapore Med J*; 52(1): 35, 2011.
- Bazzucchi I., Riccio, M.E., Felici, F. "Tennis players show a lower coactivation of the elbow antagonist muscles during isokinetic exercises", *J. Electromyogr Kinesiol*; 18(5):752-9, 2008.
- Sbriccoli, P., Camomilla, V., Di Mario, A., Quinzi, F., Figura, F., Felici, F. "Neuromuscular control adaptations in elite athletes: the case of top level karateka" *Eur J Appl Physiol*; 108:1269-1280, 2010.
- Busse, M.E., Wiles, C.M., Van Deursen., R.W.M. "Muscle Co-Activation In Neurological Conditions" *Physical Therapy Reviews*; 10: 247-253, 2005.
- Nakazawa, K., Kawashima, N., Akai, M. et al. "On the reflex coactivation of ankle flexor and extensor muscles induced by a sudden drop of support surface during walking in humans", *J Appl Physiol*, 96:604-11, 2004.
- Milner, T.E. "Adaptation to destabilizing dynamics by means of muscle cocontraction", *Exp Brain Res*,143:406-16, 2002.
- Vereijken, B., Whiting, H.T., Newell, K.M. Freezing degrees of freedom in skill acquisition. *J Motor Behav*, 24:133-42, 1992.
- Macaluso, A., De Vito, G. "Muscle strength, power and adaptations to resistance training in older people", *Eur J Appl Physiol* 91:450-72, 2004.
- Gribble, P.L., Mullin, L.I., Cothros, N. et al. "Role of cocontraction in arm movement accuracy", *J Neurophysiol*, 89:2396-405, 2003.
- Ertan, H., Kentel B., Tumer, S.T., Korkusuz, F. "Activation patterns in forearm muscles during archery shooting", *Human Movement Science*, 22:37-45, 2003.
- Cerrah, A. O., Onarıcı Güngör, E., Soylu, A. R., Ertan, H., Lees, A., Bayrak, C. "Muscular Activation patterns during the Soccer In-Step Kick", *Isokinetics and Exercise Science*, 19(3),181-190, 2011.
- Onarıcı Güngör, E., Cerrah, A.O., Soylu, A.R., Ertan, H., Sevil, G. "Muscular activation strategies during countermovement jump in female volleyball", *International Association of Computer Science in Sport, Proceedings of the Seventh International Symposium*, 136-146, 2009.
- Purves, D., Augustine, G.J., Fitzpatrick, D., Hall W.C., LaMantia, A.S., James O. McNamara & Leonard E. White; Sinauer. Neuroscience. (Fourth Edition), 371-382, 2008.
- Ilya, A. Rybak, Dmitry, G., Ivashko, Boris, I., Prilutsky, M. Anthony Lewis, and John K. Chapin. "Modeling neural control of locomotion: Integration of Reflex Circuits with CPG", *Springer-Andrag Berlin Heidelberg*, pp. 99-104, 2002.
- Akazaw, K.A. and Kato., K. "Neural network model for control of muscle force based on the size principle of motor unit". *Proceedings of the IEEE*, 78 (9) , 1990.
- Rosenbaum, D.A. "Human motor control", Second edition, Copyright © Elsevier Inc, 2010.
- Prashanth, P.S., Chakravarthy, V.S. "An oscillator theory of motor unit recruitment", *Biol Cybern*, 97:351-361, 2007.
- Hodson, E.F., James, T., Wakeling. M. "Motor unit recruitment for dynamic tasks: current understanding and future directions", *Comp Physiol B*, 179:57-66, 2009.
- Shumway-Cook, A., Woollacott, M.H. "Motor Control-translating research into clinical practice", Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, 2007.
- Trew, M., Everett, T. "Human Movement: An Introductory Text", Chapter 4, Bernhard Haas, 6. Edition, 49-50, 2010.
- Griffin, D.M. "Primate Motor Cortex: Individual and ensemble neuron-muscle output relationships", B.S. (Biology), University of Kansas, 2000.
- Patrick J. Lee, Ellen, L., Rogers, and Kevin P. Granata. "Active trunk stiffness increases with co-

- contraction”, *J Electromyogr Kinesiol*, 16(1): 51–57, 2006.
23. Folland, J.P., Williams, A.G. “The adaptations to strength training: morphological and neurological contributions to increased strength”, *Sports Med*, 37(2):145-68, 2007.
 24. De Luca, C.J. and Mambrito, B. “Voluntary control of motor units in human antagonist muscles: coactivation and reciprocal activation”, *J Neurophysiol*, 58: 525-542, 1987.
 25. Iyer, M.B., Christakos, C.N., Ghez, C. “Coherent modulations of human motor unit discharges during quasi-sinusoidal isometric muscle contractions”, *Neurosci Lett*, 170: 94–98, 1994.
 26. Marsden, J., Farmer, S., Halliday, D., Rosenberg, J., Brown, P. “The unilateral and bilateral control of motor unit pairs in the first dorsal interosseous and paraspinal muscles in man”, *J Physiol*, 521: 553–564, 1999.
 27. Semmler, J.G., Nordstrom, M.A., Wallace, C.J. “Relationship between motor unit short-term synchronization and common drive in human first dorsal interosseous muscle”, *Brain Res*, 767: 314–320, 1997.
 28. Erim, Z., De Luca, C., Mineo, K., Aoki, T. Rank-ordered regulation of motor units. *Muscle Nerve*, 19:563–573,1996
 29. Latash, M.L., *Neurophysiological Basis of Movement*, Human Kinetics,145-151, 1998.
 30. Deseilligny, E.P. and Burke, D. “The circuitry of the human spinal cord: Its role in motor control and movement disorders”, Cambridge: Cambridge University Press, 519-522, 2005.
 31. Kasser, R.J. and Cheney, P.D. “Characteristics of corticomotoneuronal postspike facilitation and reciprocal suppression of emg activity in the monkey”, *J Neurophysiol*, 53: 959-978, 1985.
 32. Pierrot-deseilligny, E., Burke, D. “The circuitry of the human spinal cord: its role in motor control and movement disorders”, Cambridge university press, 222-227, 519-522, 2005.
 33. Burke, R.E. John Eccles’ “Pioneering role in understanding central synaptic transmission. *Prog Neurobiol*, 78, 173–188, 2006.
 34. Alvarez, F.J. and Fyffe, R.E.W. “The continuing case for the Renshaw cell”, *J Physiol*, 584.1: 31–45, 2007.
 35. Ellaway, P. H. “Recurrent inhibition of fusimotor neurones exhibiting background discharges in the decerebrate and the spinal cat”, *J. Physiol. (Lond.)*, 216: 419-439, 1971.
 36. Uchiyama, T. and Windhorst, U. “Effects of spinal recurrent inhibition on motoneuron short-term synchronization”, *Biol Cybern*, 96:561–575, 2007.
 37. Ryall, R. W. “Renshaw cell mediated inhibition of Renshaw cells: Patterns of excitation and inhibition from impulses in motor axon collaterals”, *J. Neurophysiol*, 33, 257-270, 1970.
 38. Christopher, A.K. “Analysis of human motor unit discharge variability: Changes with aging and motor learning”, Christopher Anson Knight, University of Massachusetts Amherst, PhD Thesis, 2003.
 39. Hultborn, H., Brownstone, R.B., Toth, T.I., Gossard, J.P. “Key mechanisms for setting the input-output gain across the motoneuron pool”, *Prog. Brain Res* 2004; 143, 77–95.
 40. Hultborn, H. “Spinal reflexes, mechanisms and concepts: From Eccles to Lundberg and beyond *Progress in Neurobiology*”, 78: 215–232, 2006.
 41. Knikou, M. “Effects of changes in hip position on actions of spinal inhibitory interneurons in humans”. *Int J Neurosci*, 116:945–61, 2006.