

# MÜDAHALE YAKLAŞIMI: KİNETİK ZİNCİR EGZERSİZLERİ

*Intervention Approach: Kinetic Chain Exercises*

\*Ayşen CANAN PAKELOĞLU<sup>1</sup>, Kılıçhan BAYAR<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon, Muğla/ Türkiye,  
E-mail: aysencanan95@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2203-9788

<sup>2</sup>Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon, Muğla/ Türkiye,  
E-mail: kbayar@mu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-8090-5859

\* **Corresponding author / Sorumlu Yazar:** Ayşen CANAN PAKELOĞLU, **E-posta:** aysencanan95@gmail.com

Araştırma Makalesi / Research Article

Gönderi Tarihi / Received :07.11.2024

Kabul Tarihi / Accepted :13.12.2024

Online Yayın Tarihi / Published : 31.12.2024

## Özet

Kinetik zincir egzersizleri, rehabilitasyon ve performans geliştirme programlarında kullanılan etkili bir yaklaşımdır. Kinetik zincir kavramı, vücudun eklemler ve kaslar aracılığıyla birbiriyle bağlantılı olduğu ve hareketin bir segmentte başladığında diğer segmentleri de etkilediği ilkesine dayanır. Bu bağlamda, kapalı kinetik zincir (KKZ) ve açık kinetik zincir (AKZ) egzersizleri, rehabilitasyon ve egzersiz planlamasında farklı roller üstlenir. KKZ egzersizlerinde distal segment sabit kalır ve birden fazla eklem birlikte çalışır, bu da eklem stabilitesini artırırken vücut ağırlığının dengeli bir şekilde dağıtılmasını sağlar. Bu egzersizler; diz, kalça ve ayak bileği gibi alt ekstremit eklemlerinde yaralanma sonrası rehabilitasyon için yaygın olarak kullanılır. KKZ egzersizleri ayrıca nöromüsküler kontrol, propriosepsiyon ve eklem stabilizasyonu üzerinde olumlu etkiler yaratır. Özellikle sporcularda, fonksiyonel hareketlerin geliştirilmesi ve performansın artırılması amacıyla sıklıkla tercih edilmektedir. AKZ egzersizleri ise distal segmentin serbest olduğu ve daha izole kas gruplarını hedefleyen egzersizlerdir. AKZ egzersizleri, belirli kas gruplarını güçlendirmek için yararlı olsa da eklem stabilitesi ve fonksiyonel hareket paternlerinin geliştirilmesinde KKZ egzersizlerine göre daha sınırlı bir etkiye sahiptir. Kinetik zincir egzersizlerinin, üst ve alt ekstremit eklemlerinde, tendon ve ligament onarımlarında, post-operatif rehabilitasyonda ve kronik ağrı yönetiminde etkinliği kanıtlanmıştır. Her iki egzersiz türü de doğru şekilde planlanıp uygulandığında, rehabilitasyon sürecinde kas kuvvetindeki dengesizlikleri gidermeye, eklem stabilitesini artırmaya ve fonksiyonel hareketleri yeniden kazandırmaya yardımcı olabilir. Sonuç olarak, kinetik zincir egzersizleri, bireylerin hem rehabilitasyon süreçlerinde hem de fonksiyonel hareket kabiliyetlerini artırmada önemli bir müdahale yöntemi olarak öne çıkmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Kapalı kinetik zincir, Açık kinetik zincir, Egzersiz

## Abstract

Kinetic chain exercises are an effective approach used in rehabilitation and performance improvement programmes. The concept of kinetic chain is based on the principle that the body is interconnected through joints and muscles and when movement starts in one segment, it affects other segments. In this context, closed kinetic chain (CKC) and open kinetic chain (OKC) exercises play different roles in rehabilitation and exercise planning. In CKC exercises, the distal segment remains fixed and multiple joints work together, which improves joint stability and provides a balanced distribution of body weight. These exercises are widely used for post-injury rehabilitation of lower limb joints such as the knee, hip and ankle. CKC exercises also have positive effects on neuromuscular control, proprioception and joint stabilization. Especially in athletes, it is frequently preferred to improve functional movements and increase performance. OKC exercises are exercises in which the distal segment is free and target more isolated muscle groups. Although OKC exercises are useful for strengthening certain muscle groups, they have a more limited effect on the development of joint stability and functional movement patterns than CKZ exercises. Kinetic chain exercises have proven to be effective in upper and lower extremity injuries, tendon and ligament repairs, post-operative rehabilitation and chronic pain management. Both types of exercises, when properly planned and performed, can help to eliminate imbalances in muscle strength, increase joint stability and restore functional movements during the rehabilitation process. As a result, kinetic chain exercises stand out as an important intervention method in both rehabilitation processes and increasing functional mobility of individuals.

**Keywords:** Close Kinetic Chain, Open Kinetic Chain, Exercise

## GİRİŞ

**K**inetik zincir kavramı, 1955 yılında Steindler tarafından insan hareketlerini açıklamak amacıyla geliştirilmiştir. Steindler kinetik zincirleri, üst üste yerleşmiş rijit segmentlerin hareketli eklemler aracılığıyla bağlandığı sistemler olarak tanımlamıştır. İnsan vücudunda alt ekstremité kemikleri rijit segmentler olarak kabul edilir; ayak, alt bacak, uyluk ve pelvis kemikleri bu rijit segmentleri oluşturur. Subtalar, talokrural, tibiofemoral ve kalça eklemleri ise bu segmentler arasında yer alarak, hareketlerin koordinasyonundan sorumlu bağlantı eklemleri olarak işlev görür (Snyder- Mackler, 1996; Pamboris, et al., 2024).

Steindler'in bu kavramsal çerçevesi, kinetik zincirin insan hareket sistemi içindeki işlevini daha iyi anlamamıza olanak tanır. Bu çerçeveye göre, Steindler AKZ ve KKZ olmak üzere iki temel tür kinetik zincir tanımlamıştır. Açık kinetik zincir, distal segmentin serbest bir şekilde hareket edebildiği durumu ifade eder ve genellikle izole kas gruplarının aktivasyonu ile gerçekleştirilir. Örneğin, yürüme sırasında kalça fleksiyonu veya elin serbest bir şekilde sallanması AKZ'ye örnek verilebilir. Buna karşılık KKZ, distal segmentin dış direnç veya sabit bir yüzeyle etkileşimde olduğu ve serbest hareket kabiliyetinin sınırlı olduğu hareket biçimini tanımlar (Steindler, 1973). Bu tür bir zincirde, çoklu eklem ve kas grupları birlikte çalışarak hareketi koordine eder. Örneğin, merdiven inme sırasında üst ekstremité, dengenin sağlanması ve hareketin kontrolü açısından önemlidir. Bu süreçte, kas-iskelet sistemi stabilitesinin desteklenmesi hareketin kontrol edilmesine katkı sağlar. Koltuk değneği kullanımı sırasında ise KKZ'de yer alan eklemler arasındaki kompresyon kuvvetleri artar. Bu durum, omuz ve dirsek eklemlerinin stabilizasyonunu destekler ve proprioseptif geri bildirim ile postüral kontrolün sürdürülmesine yardımcı olur. Özellikle KKZ hareketlerinde, üst ekstremitenin işlevi nöromusküler kontrol ve denge mekanizmalarında önemli rol oynar.

### Tanımlar

#### *Açık Kinetik Zincir*

AKZ egzersizleri, distal segmentin serbest hareket edebildiği ve hareketin tek bir eklem üzerinde odaklandığı egzersiz yöntemidir. Bu tip egzersizde; bir eklem hareketi, zincirdeki diğer eklemlerin hareketine bağlı olmaksızın gerçekleşir ve hareketin biyomekanik paternleri, genellikle tek bir eklemden izole edilir. AKZ egzersizleri, kas gruplarının daha izole aktivasyonuna olanak tanır ve zincirdeki diğer eklemlerin minimal düzeyde etkileşimde bulunmasıyla karakterizedir. Örneğin, bir topa tekme atma hareketi sırasında yalnızca diz eklemi üzerinde fleksiyon ve ekstansiyon meydana gelirken, diğer eklemler bu harekete doğrudan katılmaz. Benzer şekilde, bir nesneyi başın üzerine uzanarak almak, omuz eklemi hareketine odaklanan tipik bir AKZ egzersizi örneğidir. Bu egzersiz türü, rehabilitasyon sürecinde özellikle belirli kas gruplarını kuvvetlendirmek için tercih edilmektedir (Karandikar and Vargas; 2011; Glass and Hoogenboom, 2010; Palmitier et al., 1992).

AKZ egzersizlerinin temel amacı, belirli kas gruplarının izole bir şekilde çalıştırılması ve eklem hareket açıklığının artırılmasıdır. Bu egzersizlerde, distal segment serbest hareket edebilmekte, böylece kas ve eklem üzerindeki yük dağılımı lokalize olmaktadır (Glass and Hoogenboom, 2010). AKZ egzersizleri, belirli bir kas grubunu hedef alarak, kas kuvveti ve dayanıklılığını geliştirmeye yardımcı olurken, aynı zamanda motor kontrol ve denge becerilerinin iyileştirilmesine de katkıda bulunmaktadır (Wilk et al., 2016).

Bu egzersizlerin rehabilitasyon süreçlerinde özellikle yaralanma sonrası dönemde kullanımı yaygındır. Yaralanmış kas ve eklemlerin işlevselliğini geri kazandırmak amacıyla, düşük etkili yüklenmelerle yapılan AKZ egzersizleri, iyileşme sürecini desteklerken, aynı zamanda ağrı yönetimini kolaylaştırır (Glass and Hoogenboom, 2010; Lephart et al., 2002). Örneğin, diz

yaralanmalarında AKZ egzersizleri, diz eklemine odaklanarak çevre kasların güçlendirilmesini sağlarken, diğer eklemlerin hareketine minimum düzeyde etki eder. Bu hem yaralanma riskini azaltır hem de rehabilitasyon sürecinde güvenli bir ilerleme sağlar (Augustsson, 2003).

Ayrıca, AKZ egzersizleri, günlük yaşam aktivitelerinde gereken hareket kalıplarını simüle ederek, bireylerin fonksiyonel kapasitelerini artırmalarına ve aktif yaşam tarzlarına güvenli bir şekilde dönüş yapmalarına yardımcı olur. Dolayısıyla, AKZ egzersizleri, yalnızca rehabilitasyon süreçlerinde değil, aynı zamanda kuvvet ve dayanıklılık geliştirme stratejilerinde de önemli bir rol oynamaktadır.

#### *AKZ Egzersizlerinin Özellikleri:*

- **Bağımsız Eklem Hareketleri:** AKZ egzersizleri sırasında eklem hareketleri, diğer eklemlerin pozisyonlarından bağımsız olarak gerçekleşir. Örneğin, diz fleksiyonu, ayak bileğinin pozisyonundan etkilenmeden meydana gelir; bu durum, belirli kas gruplarının izole bir şekilde çalıştırılmasını mümkün kılar.
- **Distal Eklem Hareketi:** AKZ egzersizlerinde hareket, eklem distal kısmında meydana gelir. Örneğin, yalnızca alt bacağın hareketi ile dizin fleksiyonu sağlanır, bu da hareketin belirli bir segment üzerinde odaklanmasını sağlar.
- **Konsantrik Kas Kasılmaları:** Bu egzersizlerde kas kasılmaları genellikle konsantrik olarak gerçekleşir. Bu durum, kasların boyunu kısaltırken oluşturduğu kuvvet ile eklemde hareket açığa çıkarması ile karakterizedir.
- **Artan Distraksiyon ve Dönme Kuvvetleri:** AKZ egzersizleri sırasında daha fazla distraksiyon ve döndürme kuvvetleri ortaya çıkar. Bu, eklem hareketinin mekanik özelliklerini etkileyerek, hareket sırasında oluşan yüklerin ve kuvvetlerin daha spesifik bir biçimde yönlendirilmesine olanak tanır.
- **Dış Destek ve Stabilizasyon Gereksinimi:** AKZ egzersizleri genellikle dış destek (duvar, paralel bar vb.) ile stabilizasyon gerektirir. Bu, egzersizlerin güvenli bir şekilde uygulanmasını sağlarken, aynı zamanda eklem stabilitesinin artırılmasına yardımcı olur.
- **Aktif Mekanoreseptörler:** Egzersiz sırasında mekanoreseptörler, hareket eden vücut kısmının konumunu ve hızını, ani denge ya da yön değişikliklerini, hareket eden kas grubundaki gerilimi sürekli algılar. Bu durum, proprioseptif geri bildirimini iyileşmesine katkıda bulunarak, denge ve koordinasyon yeteneklerinin geliştirilmesini destekler.

Rehabilitasyon programı planlanırken, hastanın optimum fonksiyona ulaşması için gereken kas kasılmaları ve eklem hareketlerinin türü göz önünde bulundurulmalıdır. Farklı kinetik zincir egzersizleri, farklı türde kas kasılmaları ve eklem hareketleri gerektirir. Sabit bisiklet sürme sırasında, ayak pedala sabitlenir ve pedala direnç uygular. Ancak ayak, pedal hareketi sırasında serbest bir şekilde hareket edebilir. Bu durum, özellikle bacak kaslarının konsantrik kasılmalarının baskın olmasına yol açar. Ayrıca, sabit bisiklet sürerken proksimal segment (kalça ve üst bacak) sabit kalırken, distal segment (alt bacak ve ayak) aktif olarak hareket eder. Merdiven inme sırasında gerçekleştirilen KKZ egzersizinde ise proksimal eklem hareket ederken distal eklem sabit kalır. Diz ekstansiyonu, sabit bir tibia üzerinde femurun medial yüzeyinin posterior ve medial yönde hareket etmesiyle gerçekleşir. Bu hareket, kalça ve diz fleksör kaslarının eksantrik kasılmasıyla kontrol edilir. Yürüme, merdiven inme veya oturma gibi fonksiyonel aktivitelerin analizi sırasında, ilgili kas kasılma tiplerinin ve eklem hareketlerinin belirlenmesi, uygun kinetik zincir egzersizlerinin seçilmesi sürecinde önemli bir rehber niteliği taşır (Conceição, et al., 2022; Wozniak-Timmer, 1991).

#### ***Kapalı Kinetik Zincir***

KKZ egzersizleri, distal segmentin sabit bir yüzey ya da dirençle temas halinde olduğu ve hareketin dışsal dirençler tarafından kısıtlandığı egzersiz yöntemidir. KKZ egzersizlerinde, birden fazla eklem senkronize olarak hareket eder. Örneğin, oturma pozisyonunda gerçekleştirilen bir KKZ egzersizinde

kalça, diz ve ayak bileği eklemleri arasında uyumlu ve tahmin edilebilir bir hareket paternine rastlanır. Bu tür egzersizler sırasında kalça fleksiyonu, diz fleksiyonu ve ayak bileği dorsifleksiyonu eş zamanlı olarak meydana gelir ve bu hareket dizisi, alt ekstremitenin çok eklemlerli bir koordinasyon içinde çalışmasına olanak tanır. Üst ekstremiteler için tipik bir KKZ egzersizi örneği push up hareketi sırasında üst ekstremitelerin aktif olarak kullanılmasıdır. Eller yere sabit bir şekilde temas ederken, omuz, dirsek ve bilek eklemleri aktif olarak birlikte çalışır. Bu, üst ekstremitelerde çok eklemlerli bir sinerji oluşturur ve aynı zamanda gövde kasları da stabilizasyona yardım etmek için devreye girer. Şınav hareketi vücut ağırlığını sabit bir destek üzerinden taşıyarak eklemlerin koordinasyonunu ve kasların bir arada çalışmasını gerektirir. KKZ egzersizleri, proprioseptif geri bildirim artırma, eklem stabilitesini geliştirme ve fonksiyonel kuvvet kazanımını desteklemede kritik bir rol oynamaktadır (Karandikar and Vargas;2011; Glass and Hoogenboom, 2010; Palmitier et al.,1992).

KKZ egzersizlerinin temel amacı, fonksiyonel hareket paternlerini simüle ederek vücudun biyomekanik ve nöromüsküler sistemlerinin uyumlu bir şekilde çalışmasını sağlamaktır. Bu egzersizler, ağırlık taşıma kuvvetlerini ve yerçekimi etkilerini kullanarak vücut üzerinde çoklu eklem ve kas gruplarının koordinasyonunu geliştirir (Steindler, 1973). Özellikle alt ve üst ekstremitelerde, eklem stabilizasyonunu artırma, kuvvet aktarımını optimize etme ve proprioseptif geri bildirim iyileştirme amacı taşır. KKZ egzersizleri, günlük aktivitelerde karşılaşılan dinamik yüklenmeler ve denge gereksinimlerine adapte olmayı kolaylaştırır.

Özellikle rehabilitasyon süreçlerinde KKZ egzersizleri, eklem çevresindeki stabiliteyi ve kas-iskelet sisteminin fonksiyonel kapasitesini güvenli bir şekilde artırmak için kullanılır. Bu egzersizlerin, düşük riskli yüklenme profiline sahip olmaları, özellikle yaralanma sonrası erken dönemde eklem yapılarının korunması ve aşırı yüklenmeden kaçınılması açısından avantaj sağlar. Ayrıca, KKZ egzersizleri vücut mekaniğini iyileştirerek, hastaların güvenli bir şekilde fonksiyonel hareket kalıplarını yeniden kazanmasına ve günlük yaşam aktivitelerine, hatta spor gibi yüksek talep gerektiren aktivitelerle güvenle dönmelerine yardımcı olur. Dolayısıyla KKZ egzersizleri yalnızca rehabilitasyon süreçlerinde değil, aynı zamanda performans geliştirme ve yaralanmaları önleme stratejilerinde de önemli bir yere sahiptir (Tagesson et al.,2008).

#### *KKZ Egzersizlerinin Özellikleri:*

- **Eklemler Arası Bağlılık:** KKZ egzersizleri sırasında eklem hareketleri birbirine bağlıdır; bu sayede bir eklemdaki hareket, diğer eklemlerin hareketini etkiler. Örneğin, dizin fleksiyonu, ayak bileğinin dorsifleksiyonuna bağlı bir hareket paternidir. Bu bağlılık, vücut mekaniklerinin entegre bir şekilde çalışmasına olanak tanır.
- **Tahmin Edilebilir Eklemsel Hareketler:** Eklem hem proksimal hem de distal eklemlerinde öngörülebilir hareketler gerçekleşir. Örneğin, diz fleksiyonu sürecinde kalça fleksiyonu, iç rotasyon, addüksiyon ve ayak bileği dorsifleksiyonu gibi eş zamanlı hareketler görülmektedir. Bu durum, hareketlerin sinerjik bir biçimde gerçekleşmesini sağlar.
- **Kas Kasılma Dinamikleri:** KKZ egzersizlerinde kas kasılmaları genellikle eksantrik olarak gerçekleşir ve birlikte çalışan kas grupları, eklem stabilizasyonunu sağlamak için entegre olarak hareket eder. Bu kas aktivasyonu, eklem sağlığını korumak ve yaralanma riskini azaltmak için kritik öneme sahiptir.
- **Artan Eklem Kompresyon Kuvvetleri:** Bu tür egzersizler sırasında daha büyük kompresyon kuvvetleri meydana gelir. Bu durum, eklem yüzeylerinin kaymasını azaltarak stabiliteyi artırır. Eklemler arası düzgün yük dağılımı, osteoartrit gibi eklem rahatsızlıklarının önlenmesine yardımcı olabilir.
- **Ortak Uyum ve Stabilizasyon:** Eklem hareketleri arasındaki uyum, genel stabilizasyonu destekler, bu da denge ve hareket kabiliyetini geliştirir.
- **Ağırlık Taşıma ve Kas Kasılmaları:** Bu egzersizler, ağırlık taşıma kuvvetlerinin ve kas kasılmalarının entegrasyonunu (İntermusküler koordinasyon) içerir. Bu mekanizma, kas kuvvetini artırarak, hareket kabiliyetini optimize eder.

- **Gelişmiş Proprioepsiyon:** Mekanoreseptörlerin sayısının artması, proprioseptif geri bildirim iyileşmesini sağlar. Bu durum, bireylerin vücut pozisyonlarını algılama yeteneğini artırarak, denge ve koordinasyon becerilerini geliştirmeye katkıda bulunur.

### **Kinetik Zincir Egzersizlerinin Fizyolojisi ve Biyomekaniği**

#### **Kapalı Kinetik Zincir Egzersizlerinin Fizyolojisi ve Biyomekaniği**

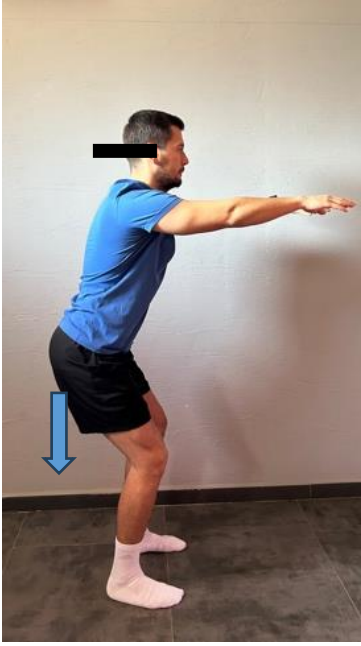
KKZ egzersizlerinden verimli bir şekilde yararlanmak için bazı noktalara dikkat edilmesi gereklidir.

- Ağırlık merkezinin doğru yerleştirilmesi
- Ayağın uygun şekilde yerleştirilmesi
- Proksimal ve distal segmentler arasındaki ilişkinin dikkate alınması

KKZ egzersizlerinde, dizin fleksiyon-ekstansiyon hareketleri sırasında ağırlık merkezinin dizin pozisyonuna göre ayarlanması, farklı kas gruplarının aktivasyonunu ve güçlenmesini sağlayabilir. Resim 1, ağırlık merkezinin doğrudan diz üzerinden geçtiği bir minisquat örneğidir. Bu durumda diz ekstansör kasları hareketin kontrolünü sağlamak için aktif hale gelir. Resim 2'de, ağırlık merkezi dizin arkasından geçmekte olup, bu konum kalça ekstansör kaslarının hareketi kontrol etmek için daha fazla çaba göstermesini gerektirir. Resim 3 ise pelvisin dizin önünde olduğu bir diz fleksiyon-ekstansiyon egzersizini (adım alma egzersizini) göstermektedir ve bu durumda gastroknemius kası, diz hareketini kontrol etmek için devreye girer. Dolayısıyla merdiven çıkma, oturup kalkma ve yürüme gibi günlük aktivitelerde de vücudun ekstremiteler üzerindeki pozisyonu çalışan kas grupları ve enerji tüketimi açısından önemlidir (Brody and Hall, 2011).



**Resim 1-** Ağırlık merkezi doğrudan dizin üzerindedir.



**Resim 2-** Ağırlık merkezi dizin arkasındadır.



**Resim 3-** Ağırlık merkezi dizin önündedir.

Ayağın pozisyonu, KKZ egzersizlerinin verimliliğini etkileyebilir. Subtalar eklemin aşırı pronasyonuna izin verildiğinde, tüm alt ekstremitede iç rotasyon meydana gelir ve bu durum dizde valgus stresi artışına yol açar. Zamanla patellotemoral ağrının ortaya çıkmasına veya medial kollateral bağın stres altında kalmasına neden olabilir. Ayağın ve dolayısıyla tüm alt ekstremitenin daha iyi bir pozisyonda olmasını sağlamak için yardımcı cihazlar kullanılabilir (Gray, 1989; Root et al.,1971). Gastroknemius kasını KKZ pozisyonunda gererken, subtalar eklemi nötral veya hafif supin pozisyonda desteklemek amacıyla çeşitli yardımcı cihazlar kullanılabilir. Resim 4’te subtalar pronasyonu sınırlamak ve talokrural eklemin dorsifleksiyonunu artırmak için kullanılan yardımcı cihazı göstermektedir.



**Resim 4-** Subtalar eklemin nötr veya hafif supinasyon pozisyonunda desteklenmesi, ayak bileği- talokrural eklemin dorsifleksiyonunu artırır.

Proksimal ve distal segmentlerin ilişkisi, hareketin bütünselliği açısından önemlidir. KKZ egzersizlerinde proksimal segment, daha sabit bir distal segment üzerinde hareket eder. Örneğin, kapalı zincir diz ekstansiyonu, sabit bir tibia üzerinde femurun posteriora doğru hareket etmesi ve mediale doğru bir iç rotasyon bileşeni ile gerçekleştirilir. Bir diğer örnek, ayak bileği ekleminin dorsifleksiyon hareketidir. Kapalı zincir egzersizinde, bu hareket, tibia ve fibulanın sabit bir talus üzerinde hareket etmesiyle sağlanır. Diz ekstansiyondayken, gastroknemius ve soleus kaslarının eksantrik kasılması, KKZ egzersizlerinde ayak bileği ekleminin dorsifleksiyonunu kontrol etmekten sorumludur (Brody and Hall,2011).

KKZ egzersizlerinde hareket, dönme ekseninin hem proksimal hem de distalinde gerçekleşir. Segmentlerin birbirlerine göre hareketleri ve hareket hızları arasındaki ilişkiyi anlamak önemlidir. Osteokinematik olarak, kapalı kinetik zincir hareketlerinde, distal segmentin (tibia) hareketi sınırlı olduğunda, proksimal segmentin (femur) daha geniş bir hareket aralığında hareket etmesi sağlanır. Örneğin, diz fleksiyonu sırasında femur, sabit tibia üzerinde iç rotasyon yapar. Bu rotasyon gerçekleşmezse, diz fleksiyonu sağlanamaz. Kapalı kinetik zincir pozisyonunda diz fleksiyonunu kontrol etmek, tibianın aşağıdan ve femurun yukarıdan karşılıklı rotasyon hareketlerinin kas kontrolünü gerektirir. Diz fleksiyonu sırasında, femur tibia üzerinde iç rotasyon yaparken tibia sabit kalır veya minimal bir iç rotasyon gösterir. Eğer femur ve tibia aynı hızda ve aynı miktarda dönerse, göreceli bir hareket meydana gelmez. Derin arka baldır (gastroknemius ve soleus) kaslarının eksantrik kasılması, subtalar eklem pronasyonunun hızını ve miktarını kontrol ederken, kalça eksternal rotatörlerinin eksantrik kasılması ise kalçadaki aşırı iç rotasyonu dengeler. Bu süreçler, düzgün ve koordineli bir diz fleksiyonu ile sonuçlanır (Pamboris et al.,2024; Ng et al.,2022).

Proksimal segmentin distal segment üzerinde hareket etmesi kavramı, immobilizasyon dönemlerinden sonra eklemler mobilize edilirken büyük önem taşır. Standart mobilizasyon teknikleri genellikle distal segmentin hareketliliğini artırmayı hedefler. Ancak, fonksiyonel hareketler sırasında proksimal segment distal segment üzerinde hareket eder. Bu nedenle eklemlerin, özellikle de ayak ve ayak bileğinin bu prensibe uygun olarak mobilize edilmesi, fonksiyonel performansı artırabilir. Eklem mobilizasyonunun ardından KKZ egzersizlerinin dahil edilmesi, elde edilen hareket aralığında uygun KKZ kinematliğini ve optimal kas kasılmalarını sağlamak için önemlidir (Brody and Hall,2011).

## Rehabilitasyonda Kapalı Kinetik Zincir Egzersizlerinin Rolü

KKZ egzersizlerinin rehabilitasyonda kullanımı 1980'lerde, ön çapraz bağ (ACL) rekonstrüksiyonu sonrası hastalarda kuadriseps kasını rehabilite etmek için güvenli yöntemler aranması ile başlamıştır. 1960'lar ve 1970'ler boyunca yapılan çalışmalarda, açık kinetik zincir diz ekstansiyonunun son 30 derecesinde anterior kesme kuvvetlerinde bir artış gözlemlenmiş ve bu artışın iyileşmekte olan greft üzerinde olumsuz etkiler yarattığı düşünülmüştür (Butler et al.,1980; Domnick et al.,2016). KKZ eklem boyunca lokal agonist-antagonist kas koaktivasyonunu artıran, eklem kaymasını azaltan, eklem yer değiştirmesini ve ACL gerginliğini en aza indiren ve proprioseptif uyarıları artıran etkili egzersizlerden birisidir.

Rehabilitasyon programı yaralı dokuların onarımı ve iyileşmesini değil aynı zamanda eklemlerin doğru pozisyonlanması ve hareketinin yanı sıra kasların uygun sırayla aktivasyonunu da gerektirir. Kapalı kinetik zincir egzersizleri, bu eksiklikleri gidermek ve daha iyi fonksiyonel iyileşme sağlamak için etkili olabilir. Bu nedenle KKZ egzersizleri, patellafemoral ve ACL yaralanmalarının rehabilitasyonunda kullanılmaktadır. ACL ve patellofemoral yaralanmaların rehabilitasyonda KKZ egzersizleri erken rehabilitasyon aşamalarında benzerdir. Ancak ilerleyen aşamalarda farklılık gösterir.

Grood ve arkadaşları, kadavra deneylerinde açık kinetik zincir diz ekstansiyonunun anterior tibial translasyonu artırdığını göstermiştir. Bu durumu en aza indirmek için dik duruşta egzersiz yapmayı önermişlerdir (Grood et al.,1983). Henning ve arkadaşları, iki gönüllünün ACL'sine bir gerinim ölçer yerleştirerek, 0 ve 22 derecede izometrik diz ekstansiyonunu ve günlük aktiviteler sırasında ACL üzerindeki gerinim miktarını ölçmüşlerdir. Dizin 22 dereceye kadar izometrik olarak uzatılmasının ACL üzerinde, yürüme veya sabit bisiklete binmeye kıyasla daha fazla yük oluşturduğunu göstermiştir (Henning et al.,2005).

Diz rehabilitasyonu için kapalı zincir egzersizleri erken ağırlık taşımaya izin vererek iyileşen bölgeyi korur ve ekstremiteyi fonksiyonel aktiviteler için hazırlar. KKZ egzersizleri ACL ve patellofemoral yaralanmalar dahil olmak üzere diz rehabilitasyon protokolünün temelini oluşturmalıdır. Protokollerin kesin sırası ve bileşimi değişkenlik göstermekle birlikte bu tür egzersizlerin uygulandığı protokoller fonksiyonel duruma daha hızlı dönüş olduğunu göstermektedir.

Üst ekstremite için KKZ egzersizlerinin gerekliliğini değerlendiren birçok araştırma yapılmıştır. Bu çalışmalar, kas içi elektromiyografi (EMG) verilerine dayanarak, bazı kapalı veya kısmen kapalı egzersizlerin omuz rehabilitasyon programlarına dahil edilmesinin faydalı olabileceğini göstermektedir. Omuzun pozisyonu, hareket dinamikleri ve kuvvet transferi, kapalı zincir aktivitelerinin fizyolojik ve biyomekanik gereksinimlerine uygunluk göstermektedir. Voleybol ve atma sporları gibi aktiviteler sırasında skapula ve omuz, kolun pozisyonuna göre senkronize hareket ederek segmentler arası koordinasyonu sağlar. Omuz, kinetik zincir içerisindeki kuvvetlerin ekstremite arasında transferi ve düzenlenmesinde kritik bir rol oynar, bu da onun rehabilitasyon ve performans artırma süreçlerindeki önemini vurgulamaktadır (Pozzi et al.,2018; Tschakert and Hoffman, 2013).

Pek çok çalışma, hareketlerin doğru bir şekilde yapılabilmesi için "sabit bir temel" üzerinde durmanın önemini vurgulamaktadır (McQuade et al.,2016; Zhou et al.,2017). Bu bağlamda, Sullivan ve arkadaşlarının motor kontrol aşamalarıyla ilgili bulguları, glenohumeral eklem etrafında stabilite sağlanması gerektiğini ortaya koymaktadır (Sullivan et al., 1982). Öncelikle glenohumeral eklem stabilitesi sağlanmalı, ardından kontrollü hareketlilik için uygun skapulotorasik ritim oluşturulmalıdır. Alt ekstremite ve gövdede üretilen kuvvetlerin ele etkili bir şekilde aktarılması, bu karmaşık hareketlerin doğru bir şekilde gerçekleştirilmesi için güçlü bir kinetik zincir gerektirdiğini göstermektedir. Yapılan çalışmalarda omuz disfonksiyonu olan hastaların rehabilitasyonunda tüm kinetik zincirin göz önünde bulundurulması gerektiği belirtilmiştir. Örneğin, bir kişi squat yaparken alt ekstremiteyi düzgün bir





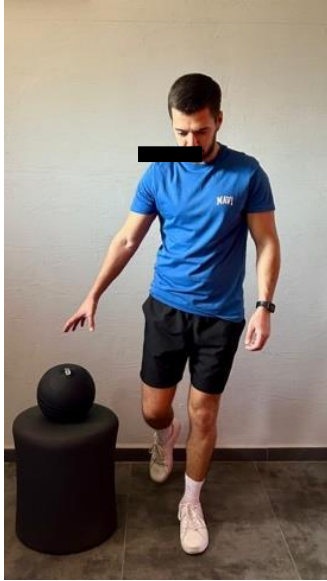
şekilde hizaladıysa, bu omuzların pozisyonunu da etkileyerek, hareketin daha stabil ve kontrollü yapılmasını sağlar. Rehabilitasyon sürecinde, omuz yaralanması olan bir hastanın alt ekstremitelerindeki stabilite ve kuvvetin artırılması üst ekstremitedeki hareketlerin kontrolü ve etkinliği artırabilir (Jaggi et al.,2014; Rubin and Kibler, 2002). Bu nedenle kapalı zincir egzersizleri, omuz yaralanmalarının tedavisinde ve spora dönüş sürecinde etkili bir egzersiz yöntemi olarak kullanılabilir.

### Kapalı Kinetik Zincir Egzersizlerinin Yoğunluğu

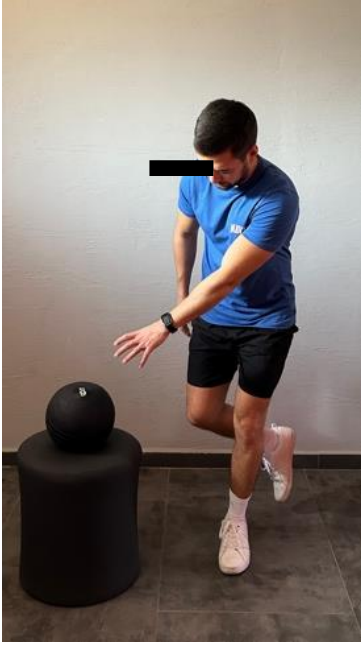
Bir rehabilitasyon programında KKZ egzersizleri kullanılırken kuvvet, hız, karmaşıklık ve hareket kontrolü değişkenleri hem ayrı ayrı hem de birlikte dikkate alınmalıdır. Rehabilitasyon sürecinin başlarında güç, nöromüsküler kontrol ve iyileşmekte olan dokunun strese karşı toleransı genellikle daha düşüktür. Bu nedenle, kuvvet egzersizleri yerçekiminin ortadan kaldırıldığı veya azaltıldığı pozisyonlarda düşük seviyede başlamalıdır. Yaralı doku iyileştikçe ve kas gücü ile koordinasyon geliştikçe, ağırlık taşıma kuvvetleri artırılarak mekanik stres yükseltilebilir (Brody and Hall,2011).

KKZ egzersizleri başlangıçta yavaş ve kontrollü bir şekilde uygulanmalı, sonrasında iyileşen dokunun stres toleransı arttıkça ve nöromüsküler kontrol gelişimi sağlandıkça egzersizler kademeli olarak ilerletilmelidir. Cook ve Purdam, tendinit tedavisinde optimal rehabilitasyonun, muskulotendinöz ünitenin eksantrik yüklenmesini ve bu yüklenmelerin hızının artırılmasını içermesi gerektiğini vurgulamaktadır. Eksantrik yüklerin kontrol edilememesinin yaralanmalara yol açan temel faktörlerden biri olduğunu belirtmektedirler (Cook and Purdam,2009). Bu nedenle, rehabilitasyon programları sırasında eksantrik kasılmaların dikkatle yönetilmesi, etkin bir iyileşme süreci için kritik öneme sahiptir.

Karmaşık hareketler hem günlük yaşam aktiviteleri hem de atletik performansın temel bileşenleridir. KKZ egzersizleri, başlangıçta sagittal düzlemde uygulanmalı, ilerleyen süreçte frontal ve transvers düzlemleri içerecek şekilde kademeli olarak çeşitlendirilmelidir. Örneğin, tek bacak üzerinde duruş sırasında frontal düzlemde meydana gelen zorluklara, lateral uzanma hareketi örnek olarak verilebilir (Resim 5). Tek bacak duruşunda transvers düzlemin zorlanmasına ise gövdenin sağa döndürülerek yapılan uzanma hareketi örnek gösterilebilir (Resim 6). Hastaların fonksiyonel ihtiyaçlarına uygun zorluk seviyesini artırmak için, rehabilitasyon sürecinde harici nesnelere (örneğin, basketbol topu sürmek) kullanılarak farklı aktiviteler entegre edilmelidir. Bu yaklaşım, nöromüsküler kontrolü ve stabiliteyi geliştirmeye yönelik olarak daha kompleks hareket örüntülerine geçişi destekler.



**Resim 5-**Frontal planda denge için tek ayak üzerinde durma sırasında yanlara doğru uzanma egzersizi



**Resim 6-**Tranvers planda denge için tek ayak üzerinde dururken gövdenin sağa doğru rotasyon ile egzersiz

İyi bir postüral kontrolün sağlanması, denge ve fonksiyon açısından önemlidir. Başlangıçta, denge ve postüral kontrol egzersizleri sırasında hastanın bir destek kullanmasına izin verilmelidir. Egzersizlerin derecelendirilmesi, desteğin kademeli olarak kaldırılmasıyla gerçekleştirilir (Brody and Hall,2011). Örneğin, statik tek bacak dengesi, bir kapı aralığında ayakkabıyla durarak ve her iki elle kapı aralığına dokunarak geliştirilir. Denge ve hastanın güveni arttıkça, egzersiz ilerletilir ve destek kaldırılır. Ayakkabılar çıkarılır, ardından sadece tek elle kapıya dokunulur ve en sonunda kapıya hiç dokunmadan egzersiz yapılır. Gözlerin kapatılması veya ayağın altına bir köpük ped yerleştirilmesi gibi dış desteğin kaldırılmasına doğru devam eder. Köpük ped, mekanoreseptör girdisini ve ekstremiteler üzerindeki yer reaksiyon kuvvetini değiştirir (Resim 7).



**Resim 7-** (A) Dış destekle denge egzersizi. (B) Yüzey değiştirerek daha zorlu denge egzersizi

## Açık Kinetik Zincir Egzersizlerinin Rehabilitasyondaki Rolü

AKZ egzersizleri, rehabilitasyon programlarında belirli kas gruplarını izole ederek hedeflenen kuvvet ve dayanıklılığı artırma imkânı sağlar. Özellikle eklem hareketliliği, kas kuvveti ve koordinasyonun yeniden kazanılması gereken durumlarda, AKZ egzersizleri hastaların ihtiyaçlarına göre özelleştirilebilir. Bu egzersizler, hastaların ağrı yönetimini kolaylaştırırken, eklem stabilitesini artırmaya ve fonksiyonel hareketlerin yeniden kazandırılmasına yardımcı olur. Ayrıca AKZ egzersizleri sırasında vücut ağırlığının veya direnç bantlarının kullanılabilmesi, hastaların mevcut durumuna göre yüklem düzeyini ayarlama imkânı sağlar. Bu özellik, rehabilitasyon sürecinin her aşamasında güvenli bir şekilde ilerlemeyi destekler ve hastaların özgüvenini artırarak bağımsız hareket yeteneklerini geliştirmelerine katkıda bulunur. Literatürde AKZ egzersizlerinin dahil edilmediği rehabilitasyon programlarının yetersiz kaldığı öne sürülmektedir. Snyder-Mackler ve arkadaşları tarafından yapılan bir araştırmada, ACL rekonstrüksiyonu geçiren hastalara yönelik yoğun bir KKZ rehabilitasyon programı, elektrik stimülasyonu ile birlikte uygulandığında hastaların quadriceps kasında kalıcı bir zayıflık saptanmış ve bu zayıflığın normal yürüyüş fonksiyonlarını etkilediği görülmüştür. Sonuç olarak, KKZ egzersizlerinin tek başına yeterli bir kas aktivasyonu sağlayamadığı ve ACL rekonstrüksiyonu sonrası normal diz fonksiyonuna ulaşmak için AKZ egzersizlerinin quadriceps kasına yönelik olarak uygulanması gerektiği vurgulanmıştır. Snyder-Mackler ve arkadaşları, belirli bir kas grubundaki eksiklikleri tespit edebilmek için izole AKZ değerlendirmesinin yapılmasının önemine dikkat çekmiştir (Snyder- Mackler,1996). KKZ egzersizlerinde olduğu gibi tüm ekstremiteler üzerinden yapılan testler problemleri tespit etmekte yetersiz kalabilir. Kinetik zincirdeki zayıf halka, izole AKZ testleri yapılmadığı sürece fark edilemeyebilir. Düzenli aralıklarla AKZ testleri yapılmadığında ise mevcut kas zayıflıkları gözden kaçabilir, bu da hem klinisyen hem de hasta için yanıltıcı sonuçlara yol açabilir.

Bireysel kas gruplarını test etmek, yalnızca yaralanmış eklemdeki birincil kasları değil, yardımcı kasları ve bitişik eklemleri de kapsamalıdır. Nichols ve arkadaşlarının çalışmasında, ayak ve ayak bileği sorunları olan hastalarda, ipsilateral kalça abdükörleri ve adduktörlerinde zayıflık olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak distal eklemlerdeki yaralanmaların tüm ekstremitelerde zayıflığına yol açtığını belirtmişlerdir (Nichols et al.,1976).

AKZ egzersizleri genellikle rehabilitasyonun erken dönemlerinde başlatılabilir. Kısıtlı ağırlık taşıma durumu, belirli KKZ egzersizlerinin uygulanmasını zorlaştırabilirken, AKZ egzersizleri ağırlık taşımadığı için bu sınırlamalardan etkilenmez. Ayrıca, klinisyenin egzersiz sırasında hareket aralığı, hız, translasyonel stresler ve varus-valgus kuvvetleri gibi parametreleri kontrol edebilme imkânı, AKZ egzersizlerinin erken dönemde uygulanabilmesine olanak tanır.

## Açık Kinetik Zincir Egzersizlerinin Yoğunluğu

AKZ egzersizlerinde, egzersizin yoğunluğu uygulanan direnç, hareket açısı ve hedeflenen kas gibi faktörlere bağlı olarak değişebilir. Egzersiz yoğunluğu daha fazla direnç eklendikçe veya egzersizler belirli eklem açılarında yapılarak artırılabilir. Örneğin, AKZ diz ekstansiyonu egzersizine başlarken, birey ilk olarak kendi vücut ağırlığıyla egzersiz yapar; ardından direnç eklenmesi, diz ekleminde daha fazla kuvvet ve zorlanma yaratır. Bu egzersizler, belirli kas gruplarını izole ederek, hedeflenen kuvvet düzeyine ulaşılmasını sağlar.

AKZ egzersizlerindeki yoğunluk, kas kasılma türünden (izometrik, konsantrik, eksantrik) de etkilenebilir; bu da ilgili kaslara ve eklemlere uygulanan torku ve kuvveti değiştirebilir. Genellikle, daha fazla kas aktivasyonu içeren eklem açılarında direnç eklemek veya egzersizler yapmak (örneğin, daha derin diz fleksiyonu) egzersiz yoğunluğunu artırır.

**Tablo 1- KKZ ve AKZ Egzersizlerinin Özellikleri**

	Kapalı Kinetik Zincir Egzersizleri	Açık Kinetik Zincir Egzersizleri
<b>Tanım</b>	Distal ucun sabit olduğu egzersizlerdir.	Distal ucun serbest olduğu egzersizlerdir.
<b>Kas Aktivasyonu</b>	Birden fazla eklem ve kas grubunu aynı anda çalıştırır.	İzole bir kas grubuna odaklanır, genellikle tek bir eklemi çalıştırır.
<b>Eklem Stresi</b>	Eklem üzerindeki stres daha kontrollüdür ve daha geniş yayılım gösterir.	Eklem üzerinde daha fazla stres oluşturabilir.
<b>Stabilite</b>	Daha fazla proprioseptif kontrol ve stabilite gerektirir.	Daha az stabilite gerektirir, genellikle makinelerde yapılır.
<b>Rehabilitasyon</b>	İleri dönem rehabilitasyonda fonksiyonelliği artırmak için uygundur.	Erken dönem rehabilitasyon için tercih edilir, çünkü izole kas gruplarına odaklanır.

### Kontrendikasyonlar ve Önlemler

Egzersizler programa dahil ederken bireyin güvenliği birincil önceliklidir. Egzersiz programı submaksimum düzeyde başlamalı ve bireyin tolere edebileceği fonksiyonel hedeflere doğru ilerlemelidir. KKZ egzersizleri yapılırken ağrı, sıcaklık veya kızarıklık artışı, şişlik (ödem veya efüzyon), eklemlerde kilitleme veya hareket kısıtlılığı, aşırı yorgunluk veya kaslarda titreme gibi semptomların ortaya çıkmamasına dikkat edilmelidir. Bu semptomlar, egzersiz sırasında vücudun verdiği uyarılar olarak değerlendirilmelidir. Bireyin güvenli bir şekilde çalıştırılabilmesi için AKZ veya KKZ egzersizlerinin derecelendirilmesine yönelik kriterlerin dikkate alınması gerekmektedir. Zincirdeki başka bir bileşenin yer değiştirmesi veya amaçlanan hareketi gerçekleştirememesi durumunda, egzersiz daha kolay bir seviyeye çekilmelidir. Örneğin, kişi dizini ikinci ayak parmağı hizasında tutarak 15 cm'lik bir basamaktan yana doğru adım atabilir ve egzersizi herhangi bir zorluk hissetmediği sürece sürdürebilir. Eğer diz bu hizayı koruyamıyorsa ya da semptomlar artıyorsa, basamağın yüksekliği 10 cm veya 5 cm olarak azaltılabilir. Egzersizin doğru yapılması, tekrar sayısından daha önemli olmalıdır. Aktiviteler düz, sert bir yüzeyde, tolere edilebilecek yoğunlukta ve uygun ayakkabılarla gerçekleştirilmelidir.

Akut eklem yaralanmaları, kırıklar, ciddi osteoartrit veya eklem dejenerasyonu, eklem instabilitesi, şiddetli kas veya bağ zayıflığı, yüksek basınçlı eklem içi sıvı artışı (efüzyon), özellikle menisküs onarımı, ön çapraz bağ rekonstrüksiyonu veya total eklem protezi gibi eklem cerrahisi sonrası KKZ egzersizlerinden kaçınılması, uygun zamanda alternatif yaklaşımların ve AKZ egzersizlerinin tercih edilmesi gerekmektedir.

### SONUÇ

Kinetik zincir hareketlerinin rolünü anlamak hem hastalar hem de sporcular için egzersiz uygulamalarında önemlidir. Kinetik zincirde enerjinin verimli bir şekilde aktarılması için optimum anatomi, fizyoloji ve mekaniğe ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebeple kişilere egzersiz uygularken kinetik zincirin mekanik prensiplerini gözlemleyerek bu prensiplere uygun egzersiz kararı verilmelidir. Kinetik zincirin etkili bir şekilde kullanılması, bireylerin performansını artırırken, aynı zamanda yaralanma riskini de azaltır. Özellikle sporcularda, kinetik zincir analizi, hareketin her aşamasında enerji transferinin nasıl gerçekleştiğini anlamamıza yardımcı olabilir. Sonuç olarak, kinetik zincir egzersizlerinin anlaşılması, bireylerin fiziksel performanslarını arttırmak için en etkin kinetik zincir egzersizlerini tercih etmeyi ve doğru şekilde yapmayı sağlayacaktır. Hem klinik uygulamalarda hem de

sporcularda kinetik zincirin özelliklerinin dikkate incelenmesi daha etkili müdahaleler yapılmasına yardımcı olur.

**Yayın Etiği:** Bu çalışmanın hazırlanma ve yazım sürecinde “Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi” çerçevesinde bilimsel, etik ve alıntı kurallarına uyulmuş olup; toplanan veriler üzerinde herhangi bir tahrifat yapılmamış ve bu çalışma herhangi başka bir akademik yayın ortamına değerlendirme için gönderilmemiştir.

**Çıkar Çatışması:** Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

**Yazar Katkı Oranı:** Bu çalışmada, yazarların katkı oranı, eşit katkı yazardır.

## Kaynaklar

- Augustsson, J., Thomeé, R., Hornstedt, P., Lindén, C., Sjöberg, A., Karlsson, J., & Grimby, G. (2003). Open versus closed kinetic chain exercises after anterior cruciate ligament reconstruction: A prospective randomized study of the relationship between quadriceps muscle strength, functional performance, and anterior knee laxity. *J Sports Sci Med.*, 2(2), 18-25.
- Brody, L.T., & Hall, C.M. (2011). *Therapeutic Exercise: Moving Toward Function*.
- Bullock-Saxton, J.E., Janda, V., & Bullock, M.I. (1994). The influence of ankle sprain injury on muscle activation during hip extension. *Int J Sports Med.*, 15(6), 330-334.
- Butler, D.L., et al. (1980). Tendon grafts: their relationship to the anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg.*, 62(5), 726-736.
- Conceição, A., Milheiro, V., Parraca, J. A., Rocha, F., Espada, M. C., Santos, F. J., & Louro, H. (2022). The Effect of Handlebar Height and Bicycle Frame Length on Muscular Activity during Cycling: A Pilot Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(11), 6590.
- Cook, J.L., & Purdam, C. (2009). Is tendon pathology a continuum? A pathology model for understanding tendinopathy. *Br J Sports Med.*, 43(7), 409-413.
- Domnick, C., Raschke, M. J., & Herbort, M. (2016). Biomechanics of the anterior cruciate ligament: Physiology, rupture and reconstruction techniques. *World journal of orthopedics*, 7(2), 82.
- Grood, E.S., & Suntay, W.J. (1983). A joint's kinematic and kinetic characteristics. *J Biomech.*, 16(3), 167-173.
- Glass, R., Waddell, J., & Hoogenboom, B. (2010). The effects of open versus closed kinetic chain exercises on patients with ACL deficient or reconstructed knees: a systematic review. *North American journal of sports physical therapy: NAJSPT*, 5(2), 74.
- Henning, E.M., & McLean, S.G. (2005). Influence of position on anterior cruciate ligament strain during isometric knee extension. *Am J Sports Med.*, 33(7), 1181-1186.
- Jaggi, A., Alexander, S., Herbert, R., Funk, L., & Ginn, K.A. (2014). Does surgery followed by physiotherapy improve short and long term outcome for patients with atraumatic shoulder instability compared with physiotherapy alone? *BMC Musculoskeletal Disord.*, 15, 1-6.
- Karandikar, N., & Vargas, O.O.O. (2011). Kinetic Chains: A Review of the Concept and Its Clinical Applications. *PM&R*, 3(8), 739-745.
- Lephart, S.M., & Tsai, Y.S. (2002). Proprioception and functional stability: The importance of the neuromuscular system. *Sports Med.*, 32(11), 673-685.
- McQuade, K.J., Borstad, J., & De Oliveira, A.S. (2016). Critical and theoretical perspective on scapular stabilization: what does it really mean, and are we on the right track? *Phys Ther.*, 96(8), 1162-1169.
- Ng, W.H., Jamaludin, N.I., Sahabuddin, F.N.A., Ab Rahman, S., Shokri, A.A., & Shaharudin, S. (2022). Comparison of the open kinetic chain and closed kinetic chain strengthening exercises on pain perception and lower limb biomechanics of patients with mild knee osteoarthritis: A randomized controlled trial protocol. *Trials*, 23(1), 315.
- Nicholas, J.A., Strizak, A.M., & Veras, G. (1976). A study of thigh muscle weakness in different pathological states of the lower extremity. *Am J Sports Med.*, 4(6), 241-248.
- Palmitier, R.A., An, K.-N., Scott, S.G., & Chao, E.Y.S. (1991). Kinetic Chain Exercise in Knee Rehabilitation. *Sports Med.*, 11(6), 402-413.
- Pamboris, G. M., Pavlou, K., Paraskevopoulos, E., & Mohagheghi, A. A. (2024). Effect of open vs. closed kinetic chain exercises in ACL rehabilitation on knee joint pain, laxity, extensor muscles strength, and function: a systematic review with meta-analysis. *Frontiers in Sports and Active Living*, 6, 1416690.
- Pozzi, F., De Oliveira, M.A., & Lopes, A.D. (2018). Effects of closed kinetic chain exercises on muscle activation in individuals with shoulder dysfunction: A systematic review. *Phys Ther Sport*, 34, 136-143.
- Rubin, B.D., & Kibler, W.B. (2002). Fundamental principles of shoulder rehabilitation: conservative to postoperative management. *Arthroscopy*, 18(9), 29-39.
- Snyder-Mackler, L. (1996). Scientific rationale and physiological basis for the use of closed kinetic chain exercise in the lower extremity. *J Sport Rehabil.*, 5, 2-12.

- Steindler, A. (1973). *Kinesiology of the Human Body Under Normal and Pathological Conditions*. Springfield, IL: Charles C Thomas.
- Sullivan, P.E., Markos, P.D., & Minor, M.A.D. (1982). *An Integrated Approach to Therapeutic Exercise Theory and Clinical Application*. Reston, VA: Reston Publishing Company.
- Tagesson, S., Öberg, B., Good, L., & Kvist, J. (2008). A comprehensive rehabilitation program with quadriceps strengthening in closed versus open kinetic chain exercise in patients with anterior cruciate ligament deficiency. *Am J Sports Med.*, 36(2), 298–307.
- Tschakert, G., & Hofmann, P. (2013). Kinetic chain exercises for shoulder rehabilitation: Effects on muscle activation and joint stability. *J Rehabil Res Dev.*, 50(8), 1077-1090.
- van der Krogt, M.M., Delp, S.L., & Schwartz, M.H. (2012). How robust is human gait to muscle weakness? *Gait Posture*, 36(1), 113-119.
- Wozniak-Timmer, C.A. (1991). Cycling biomechanics: a literature review. *J Orthop Sports Phys Ther.*, 14, 106-113.
- Zhou, D., Zhang, S., Zhang, H., Jiang, L., Zhang, J., & Fang, J. (2017). A novel method of evaluating knee joint stability of patients with knee osteoarthritis: Multiscale entropy analysis with a knee-aiming task. *Sci Rep.*, 7(1), 354.