

EL FONKSİYONLARI VE REHABİLİTASYONU GELİŞİMDEN KLİNİĞE

Editör
HALİL İBRAHİM ERGEN



BİDGE Yayınları

**EL FONKSİYONLARI VE REHABİLİTASYONU:
GELİŞİMDEN KLİNİĞE**

Editör: DR. ÖĞR. ÜYESİ HALİL İBRAHİM ERGEN

ISBN: 978-625-372-757-4

1. Baskı

Sayfa Düzeni: Gözde YÜCEL

Yayınlama Tarihi: 28.07.2025

BİDGE Yayınları

Bu eserin bütün hakları saklıdır. Kaynak gösterilerek tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının ve editörün yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Sertifika No: 71374

Yayın hakları © BİDGE Yayınları

www.bidgeyayinlari.com.tr - bidgeyayinlari@gmail.com

Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. Şti.

Güzeltepe Mahallesi Abidin Daver Sokak Sefer Apartmanı No: 7/9 Çankaya /
Ankara



ÖNSÖZ

El Fonksiyonları ve Rehabilitasyonu: Gelişimden Kliniğe adlı bu kitap, el rehabilitasyonu alanında çalışan tüm ergoterapistlere, fizyoterapistlere, klinisyenlere ve öğrencilerimize yol gösterecek bütüncül bir kaynak oluşturmak amacıyla hazırlanmıştır.

El, insanın günlük yaşam aktivitelerini sürdürebilmesinin yanı sıra, üretim ve iletişimde benzersiz bir role sahip, eşsiz bir organdır. Bu karmaşık yapının gelişimsel süreçleri ile anatomik ve biyomekanik temellerinin anlaşılması, etkili bir değerlendirme yapabilmenin ve dolayısıyla doğru rehabilitasyon stratejileri geliştirebilmenin ön koşuludur. Ancak mevcut kaynakların büyük bölümü bu konuları birbirinden bağımsız biçimde ele almakta, bütüncül bir yaklaşımdan yoksun kalmaktadır. Elin gelişiminden kliniğe uzanan bu süreçlerin bir arada değerlendirilmesinin öğrenme ve uygulama açısından daha anlamlı olacağına inanarak, literatürdeki bu boşluğun doldurulması amacıyla bu kitap hazırlanmıştır.

Kitabın ilk bölümünde, prenatal dönemden çocukluğa kadar el fonksiyonlarının gelişimi, bilimsel literatür ve kanıta dayalı bilgiler ışığında ele alınmıştır. İkinci bölümde, elin anatomisi ve biyomekaniği ile klinik değerlendirme ilkeleri bütüncül bir yaklaşımla sunulmuştur. Son bölümde ise el ve el bileği patolojilerinde güncel rehabilitasyon yöntemleri, klinik uygulamaya yönelik örneklerle açıklanmıştır. Her bölüm, ilgili literatür taramaları, kanıta dayalı yaklaşımlar ve uygulama örnekleri ile desteklenmiştir.

Bu eserin hazırlanma sürecinde, hedefimiz yalnızca bir rehber kitap hazırlamak değil; aynı zamanda öğrencilerin öğrenme yolculuklarında ve klinisyenlerin karar verme süreçlerinde onlara eşlik edecek güvenilir bir kaynak sunmaktır.

Bu kitabın hazırlanmasında emeği geçen değerli yazar arkadaşlarıma, BİDGE Yayınları ekibine ve literatüre araştırmalarıyla katkı sunan, kanıta dayalı uygulamalarla el rehabilitasyonu bilimini geliştirmeye gönöl vermiş araştırmacılara teşekkür ederim. Bu eserin, el rehabilitasyonu alanında çalışan herkes için güvenilir bir kaynak olmasını, bilimsel bakış aımızı zenginleştirmesini ve klinik uygulamalara anlamlı katkılar sağlamasını dileriz.

İlk bölümde yer alan görseller için model olmayı kabul eden sevgili kızım Gülce Ergen’e yürekten teşekkür ederim. Onun küçük elleri bu kitabın büyük bir parçası oldu <3

Bilimsel bilginin ışığında, sağlıklı ellerle dolu bir gelecek dileğiyle...

Editör: Dr. Öğr. Üyesi Halil İbrahim ERGEN

Gaziantep Üniversitesi

İÇİNDEKİLER

EL FONKSİYONLARININ GELİŞİMSEL SÜRECİ: PRENATAL DÖNEMDEN ÇOCUKLUĞA.....	6
HALİL İBRAHİM ERGEN	6
ELİN ANATOMİK VE BİYOMEKANİK TEMELLERİ İLE KLİNİK DEĞERLENDİRME.....	36
İREM AKGÜN	36
EL VE EL BİLEĞİ PATOLOJİLERİNDE REHABİLİTASYON YAKLAŞIMLARI.....	58
GÜLSER CİNBAZ	58

EL FONKSİYONLARININ GELİŞİMSEL SÜRECİ: PRENATAL DÖNEMDEN ÇOCUKLUĞA

HALİL İBRAHİM ERGEN¹

Giriş

İnsan elinin gelişimi, tüm canlı organizmalardaki fonksiyonel uzantıların gelişiminin ve değişiminin zirvesini temsil eden karmaşık ve büyüleyici bir süreçtir. Bu bölümde, insan elinin biyolojik gelişim serüveni anlatılacaktır. Elin oluşumunun *in utero* (rahim içi) aşamalarından, bu süreci kontrol eden çeşitli moleküllerden ve genetik faktörlerden kısaca bahsedilecektir. Ayrıca bu gelişim sürecinden ayrı düşünülemeyecek olan üst ekstremité gelişimine de değinilecektir. Konunun amacından uzaklaşmaması açısından sinirler, damarlar, kaslar ve tendonların gelişimi bu bölümde yer almayacaktır. Elin biyolojik ve fonksiyonel gelişiminin genel özetinin yer aldığı bu bölümün el terapistleri ve el cerrahları açısından, elin ve el fonksiyonlarının değerlendirilmesine yönelik önemli bilgiler sağlaması amaçlanmıştır.

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Gaziantep Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Orcid: 0000-0002-5215-2642

Elin Hayatımızdaki Rolü

Omurgalıların habitatlarındaki ve alışkanlıklarındaki değişiklikler, binlerce yıllık değişim döneminde ellerinin gelişimine neden olmuştur. Balıkların yüzgeçleri, sürüngenlerin hareket etmek dışında pek az amaç için kullandıkları ekstremiteleri, kuşların kanatları ve memelilerin ön ayakları gibi insan elinde de büyük bir değişim gerçekleşmiştir. İnsan elinin duyu ve motor organı fonksiyonları haricinde, cebimizdeki ya da çantamızdaki çeşitli nesneleri görmeksizin, sadece dokunarak tanımlamamızı sağlayan üst düzey bir yeteneği (*stereognosis*) vardır. Tüm bunların dışında, insana özgü benzersiz bir özellik olan “ifade organı” fonksiyonundan da bahsedilmelidir (Thirkannad & Patil, 2021).

Elin Gelişimi

Ekstremit segmentasyonu, dijital kırışların oluşumundan parmakların ayrımına kadar olan süreç ile beraber üç bölüm (kol, önkol ve el) olarak tanımlanmaktadır. Üst ekstremitenin gelişmiş bazı bölgelerinden salınan düzenleyici moleküllerin etkileşimi, elin gelişimini (*morfogenez*) yönlendirir. Bazı düzenleyici moleküller hücresel aktiviteleri uyarırken, diğerleri bu süreçleri baskılar. İskelet yapılarının ve boşluklarının oluşumunu sağlamak amacıyla, hücre çoğalması (proliferasyon) ve programlanmış hücre ölümü (apoptozis) üst ekstremitenin çeşitli bölgelerinde düzenli bir biçimde gerçekleşir. Elin gelişiminin doğru biçimde anlaşılabilmesi, üst ekstremitenin gelişim sürecinin tam olarak anlaşılmasına bağlıdır. Elin gelişim süreçlerini ve gelişimsel mekanizmalarını anlamak ise konjenital el malformasyonlarının altındaki mekanizmaların anlaşılmasında klinisyenler için önemlidir (Eker & ark., 2023).

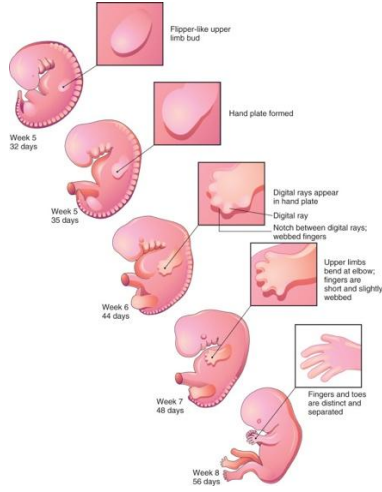
Üst ekstremitenin embriyolojik açıdan gelişimi 2 aşamada incelenebilir (Al-Qattan, 2014):

1. Ekstremit gelişiminin aşamaları

2. Ekstremitenin 3 uzamsal eksen boyunca nasıl şekillendiği (proksimal-distal, antero-posterior, dorso-ventral).

Üst ekstremitte gelişimi, fetal gelişimin üç ana evresi içinde gerçekleşir. İlki 1.-2. haftalarda gerçekleşen *farklılaşma öncesi dönem*, ikincisi 3.-8. haftalar arasındaki *embriyonik dönem* ve sonuncusu 9. haftadan itibaren gerçekleşen *fetal dönem*dir. Üst ekstremitte morfolojisinin farklılaşması, embriyonik dönemde, yaklaşık 5. haftada üst ekstremitte tomurcuğu ile başlar. Apikal ektodermal sırt olarak tanımlanan, ekstremitte tomurcuğunun distal sırtında bulunan hücre topluluğu, üst ekstremitte için farklılaşma ve matürasyon sürecine aracılık eder. Mezenşimal yoğunlaşmanın meydana gelişine neden olduğu omuz, kol, önkol ve eldeki kıkırdak analoglar, gestasyonun 6. haftasında kemikleşir. Ekstremitte tomurcuklarının distal uçları düzleşerek el ve ayak plakalarına dönüşür. Altıncı hafta tamamlandığında el plaklarındaki mezenşimal doku parmak kirşlerini oluşturmak üzere yoğunlaşarak el plaklarındaki parmakların şeklini oluşturur. Üst ekstremitteki gelişim alt ekstremiteden daha önce gerçekleşir (**Şekil 1.**) Primer ossifikasyon merkezleri 12. hafta gibi erken bir dönemde uzun kemikleri oluşturmaya başlar. Eklemlerdeki boşlukların sıralı oluşumu, ligamentlerin yoğunlaşması ve kasların farklılaşması ilk olarak omuz kuşağında başlar ve 6-8 haftalık bir zaman dilimi boyunca elin distaline doğru ilerler. Dokuz hafta sonra ise kemikler, eklemler, ligamentler ve kaslar daha da olgunlaşır (Van Heest, 1996).

Şekil 1. Ekstremitelerin gelişimlerine dair görseller (32.-56. günler).



Kaynak: <https://obgynkey.com/development-of-limbs/>

Elin Oluşumu

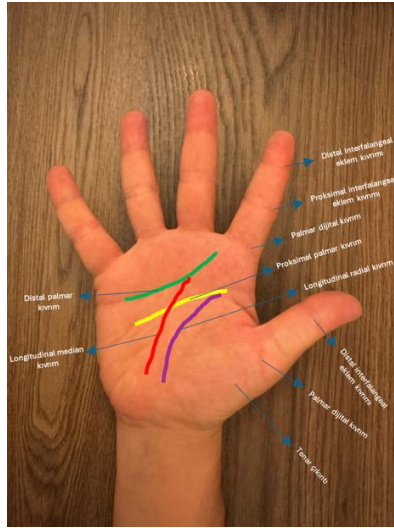
Fetal el morfogenezi, gebeliğin 6.-14. haftaları arasında gerçekleşir. Bu süreci üç aşamaya ayırabiliriz:

1. aşama: Şekil alma (6.-10. haftalar)
2. aşama: Kıvrımların görünümü (10.-13. haftalar)
3. aşama: Çıkıntılarının oluşumu (13. haftadan itibaren)

İlk aşama, elin dış şeklinin tamamının oluştuğu evre olan 6.-10. haftalar arasındaki süreçtir. Elin ilk oluşumu, el *primordiumunun* asimetrisi ve başparmak kıvrımının 6 hafta gibi erken bir zamanda gelişimiyle ortaya çıkar. Sekizinci ve 10. haftalar arasında tüm parmaklar aynı uzamsal düzleme ulaşır ve başparmak rotasyon yapar. Bu aynı zamanda parmakların uçlarındaki ve interdijital (parmakların arası) pedlerin yapısının aşamalı biçimde, belirgin olarak oluştuğu zaman dilimini ifade eder (Lacroix & ark., 1984).

Gelişimin ikinci aşamasında, her iki yüzey çıkıntısı da gerilemeye başlar. İnterdijital pedler 11. hafta civarında gerilemeye başlarken, parmak pulpalarındaki çıkıntılı yüzeyler 13. haftadan itibaren bunu takip eder. Embriyonun 10. haftasından itibaren başparmağın *oppozisyonu* ile *tenar* bölge şekillenmeye başlar ve bu süreç, palmar kıvrımların ilk morfolojik izlerinin ortaya çıkmasına zemin hazırlar. Takip eden 2 hafta içerisinde proksimal ve distal palmar kıvrımlar daha da belirginleşir. Ortaya çıkan son kıvrım ise *interfalangeal* fleksiyon kıvrımıdır (Lacroix & ark., 1984). (Şekil 2.)

Şekil 2. Elin palmar tarafı ve palmar kıvrımlar.



Tümseklerin ortaya çıkması üçüncü evreyi ifade eder. Parmak uçlarının lateral bölümünden başlayarak, lateralden distale ve sonrasında *-falanksın* sonunda- medialden proksimale doğru ilerleyerek tümsekler gelişir (Lacroix & ark., 1984). El ve eldeki parmakların oluşumu hücresel, biyokimyasal ve moleküler düzeyde gerçekleşen hassas bir süreçtir. Bu aşamalarda önemli hücresel mekanizmalar, biyokimyasal faktörler ve genetik süreçler yer alır (Al-Qattan, 2014; Cole & ark., 2009; Sammer & Chung, 2009).

Elin Motor Becerilerinin Gelişimi

Elin motor becerilerinin gelişimi erken *in utero* dönemde spontane hareketlerle başlar. Bu gelişim, ince motor becerilerde ve koordinasyonda ustalık kazanılan adolesan döneme kadar devam eder. Bir çocuğun hayatının ilk birkaç yılında, el motor becerilerinde hızlı ve önemli bir gelişim görülür. Bu süreçte amaç çocuğun nesneleri keşfetmesi ve kullanmasına olanak sağlamasıdır (Lobo & ark., 2015; Lobo & ark., 2013). Başlangıçtaki spontane hareketler zamanla spesifik olmayan, genel hareketlere dönüşür. Bu genel hareketler, bebeğin çevreyi keşfetmesi ve bilgi toplaması için kullanılır. Bu duyuşal deneyimler, istemli el hareketlerinin gelişimi için kritik öneme sahiptir (Lobo & ark., 2015; Zoia & ark., 2007). Spesifik olmayan el hareketleri keşif hareketlerine doğru evrilir. Keşif süreci, ilkel kavrama paternleriyle başlar ve nesnelerin beceriyle manipüle edilmesini sağlayan hassas hareketlere dönüşür. Elin fonksiyonel biçimde kullanımı için gereken beceriler çok sayıda bağımsız, sıralı bileşenden oluşur (Charles, 2008):

- Nesnenin algılanması,
- Nesneye doğru uzanma,
- Elin oryantasyonu,
- Nesneye yaklaşırken elin açıklığının kalibrasyonu,
- Nesne kavranırken kuvvetin kalibrasyonu ve
- Nesnenin amacına uygun şekilde tek ya da iki elle kavranması ve manipülasyonu.

Tüm bu alt becerilerin zamanlaması ve koordinasyonu, uzanma-kavrama hareketlerinin olgunlaşmamış geri bildirim mekanizmasından olgun, ileri beslemeli ve öngörüşel yaklaşıma doğru dönüştüğü erken çocukluk dönemi boyunca gelişimini sürdürür (Charles, 2008). Çocukluğun geç dönemi ve erken adolesan

dönemde; hız, doğruluk ve koordinasyonun maksimum kontrolü için gelişmeye devam eder (Shumway-Cook, 2007).

El becerileri, çoklu sistemlerin etkileşimi ve merkezi sinir sisteminin (MSS) olgunlaşmasıyla gelişir (Case-Smith, 2006). Gelişimsel süreç, genellikle nöromotor olgunlaşmanın tipik gelişimine paralel olmasına rağmen, başlangıç zamanlaması çocuklar arasında farklılık gösterebilir. El becerisi gelişiminin tipik paternleri MSS'nin olgunlaşmasına karşılık gelen belirli aşamalarda ve yaş aralıklarında görülür. Fakat bu aşamaların ve yaş aralıklarının ise bireysel gelişime göre farklılık gösterebileceği unutulmamalıdır. Duyusal deneyimlerin (taktil, görsel ve propriyoseptif) ve çevrenin, el becerilerinin gelişimi üzerindeki etkilerinin, bu farklılıklardan büyük ölçüde sorumlu olduğu düşünülmektedir (Case-Smith, 2006). Duyusal uyaranlar becerilerin gelişiminde temel geri bildirim sağlar. Ayrıca, bu uyaranlar tipik ve atipik gelişim gösteren çocuklar için çevrenin zenginleştirilmesi ve gelişimin desteklenmesi amacıyla bakım verenler ve klinisyenler tarafından kullanılabilir (Wolff, 2020).

Spontan Hareketler

İnfantların en erken hareketleri spesifik olmayan, amaçsız ve rastgele hareketlerdir. Generalize hareketler olarak adlandırılan ve “spontan hareketler” olarak tanımlanan bu hareketler, üst ekstremiteye özgü olmayıp tüm ekstremitelerde görülür (Ferrari & ark., 1997). Üst ekstremitenin genel hareketleri ise gebeliğin 8. haftasından başlayarak 16. haftasındaki amaçlı ve hedefli uzanma ortaya çıkıncaya kadar devam eder (Einspieler & Prechtel, 2005). Gebeliğin 36.-38. haftasına kadar erken fetal preterm hareketlerde önemli değişiklikler meydana gelir. Daha sonra bu hareketler yerini writhing hareketlerine (36. hafta-*postterm* 2. ay) bırakır. Yavaş-orta hızdaki *writhing* hareketleri proksimal iken 2.-5. aylıkken ortaya çıkan *fidgety* hareketleri daha distaldir ve daha düşük hıza sahiptir

(Prechtl & ark., 1997). Kolların genel hareketleri, uzanma ve kavrama hareketlerinin öncüsüdür (von Hofsten & Fazel-Zandy, 1984).

Spontan hareketlerdeki (özellikle *fidgety* hareketleri) eksiklik, anormallik ve düzensizlik ilerleyen süreçte ortaya çıkabilecek nörolojik disfonksiyon riskini öngörebilir (Einspieler & Prechtl, 2005). Bu anormal motor aktivitenin değerlendirilmesi ve gelişimsel bozukluklar bakımından risk altındaki bebeklerin belirlenebilmesi amacıyla kullanılan genel hareket değerlendirmesi veya çeşitli hareket tanıma teknolojilerinin kullanıldığı hareket yakalama teknikleri gibi değerlendirme yöntemleri vardır (Bosanquet & ark., 2013; Kwong & ark., 2018). Kullanılan yöntemlerin türünden bağımsız olarak riskli bebeklerin erken aşamada tespiti, elin ve kolun motor kontrolünü teşvik etmeye odaklanan erken müdahaleye fırsat tanınması açısından çok önemlidir (Wolff, 2020).

Tek El Fonksiyonu

• Tek el ile uzanma

İstemli, hedefe yönelik, fonksiyonel hareketler 3 aylıktan ortaya çıkar. Bu değişiklik, nöromotor gelişim sürecindeki değişiklikler ve subkortikalden kortikal işlemlemeye geçişle oluşur (Ouss & ark., 2018). Erken bebeklik döneminde “*bir nesneye doğru uzanma*” ve “*kendine uzanma*” olmak üzere iki tip uzanma görülür. Bir nesneye doğru uzanma, “uzanarak kavrama” ya da diğer adıyla “kavrama için uzanma” hareketinin öncüsü olarak bilinirken, “kendine uzanma” genellikle eli yüze götürme olarak ifade edilir. Her iki hareketin ortak noktası, hedefe yönlendirilen kol hareketi olsa da hedefin duyuşal belirlenmesinde belirgin fark yer alır. Nesneye uzanırken görsel girdi, kendine uzanmada propriyoseptif girdi kullanılır (Zoia & ark., 2013). Hedefe yönelik uzanmanın en erken görüldüğü zaman gebeliğin 22. haftasıdır (Zoia & ark., 2007).

Kavrama için Uzanma (*Reach to grasp*)

1- Uzanma

Gelişimini tamamlamış bir kavrama aktivitesindeki uzanma hareketi; *uzanma*, *kavrama*, *taşıma* ve *bırakma* aşamalarından oluşmalıdır. Bu aşamalar kavrama olgunlaştığında eş zamanlı olarak gerçekleştirilmesine rağmen, her bir aşama bebeklik döneminde sırayla gelişir. Motor becerilerin gelişiminde proksimalden distale olan gelişim sıralaması kavramada da görülür ve uzanma, kavramadan önce gelişir. Hedef nesneye uzanmanın doğru bir şekilde gerçekleşebilmesi için görsel ve propriyoseptif bilgiler doğru şekilde bütünleştirilmelidir (Jeannerod, 1984; von Hofsten & Rönnqvist, 1988).

Bebeklerde görsel kılavuzlu ve sezgisel hedefe yönelik uzanma 4 aylıkken ortaya çıkar (Berthier & Keen, 2006). İlk başlarda görsel alanlarındaki nesnelere rastgele vurmaya başlayan bu uzanmalar, zamanla tekrarlı maruziyetler ve deneyimlerle, el ve kol hareketlerinin daha amaçlı hale gelmesi ve belirli bir hedefe yönelmesi şekline dönüşür. Bu süreçteki uzanma, değişken ve düzensiz yörüngeye sahip, nispeten kaba bir uzanmadır. Uzanmanın hareket yörüngeleri 1 yaşında daha düz bir hal alırken 2-3 yaşlarında stereotipik paternler şekline dönüşür (Konczak & Dichgans, 1997; von Hofsten, 1991).

2- Kavrama

Nesnelerin başarılı bir şekilde manipüle edilebilmesi, el motor becerilerinin birkaç ayrı bileşenin kombinasyonuna bağlıdır:

- Kontrollü kavrama ve bırakma
- Kavranan nesneyi bir elden diğerine aktarma yeteneği ve
- Parmakların ayrılması.

Gelişmiş kavrama hareketi, uzanma sırasında ortaya çıkan ve elin eş zamanlı şekilde açılarak nesnenin gerçek boyutuna ve şekline uygun olarak gerçekleşen bir sezgisel (öngörü) mekanizmaya sahiptir. Elin açılıp-kapanma zamanlaması kavrama hareketinin düzgün biçimde gerçekleştirilebilmesi için çok önemlidir. Aksi halde başarısız bir kavramaya neden olur. Düzgün bir kavrama hareketinde elin açıklığı, uzanma fazının yaklaşık %75’inde artarak maksimuma ulaşır ve hedef nesneye yaklaştıkça azalmaya başlar (Jakobson & Goodale, 1991; Jeannerod, 1984).

Bebeklerde, amaca yönelik kavramadan önceki, parmakların gelişigüzel açılıp kapandığı amaçsız el hareketlerine “ön kavrama” el hareketleri ya da “anlamsız el mırıltıları” denir (Wallace & Whishaw, 2003). Doğumdan 4. aya kadar olan evrede elin palmar kısmındaki uyarıya cevaben parmakların avuç içindeki nesnenin etrafını sararak kapandığı refleksif evre yer alır. Amaca yönelik kavrama, taktil ve sözel uyarana maruziyet ile 4.-6. aylar arasında gelişir (Bruner & Koslowski, 1972). Yine bu süreçte görsel ve taktil bilgiler bütünleştirilmeye başlar. Taktil ve görsel uyarının kombinasyonu; kavrama, yönlendirme ve amaçlı kavramada eli nesneye göre ayarlama becerisinin gelişimi açısından çok önemli bir role sahiptir (Case-Smith, 2006). Farklı nesne şekilleri ve boyutları ile deneyim ve etkileşim sonucunda zamanla kavrama paternleri oluşur. Yaklaşık 5. ayda çocuk bir nesneye dokunur ve onu hisseder. Başlangıçta tesadüfen gerçekleşen istemli kavrama bu deneyimlerle gelişir. Sonrasında çeşitli nesnelere ve oyuncaklara maruz kalmasıyla ve uyarılmasıyla birçok kavrama paterni gelişir. Sezgisel kavrama becerisinin ilk girişimleri 5.-6. aylık iken görülür. Bu dönemdeki bebeklerin kavramaya hazırlanmak için ellerini açmaları ve nesneye erişmeden ellerini kapatmaları bu girişimlerin en erken hareketleridir (Wolff, 2020).

Kavrama sırasında hedef nesnenin boyutuna uygun şekilde elin önceden şekillendirilmesi 8. ayda gelişmeye başlar (von Hofsten

& R  nnqvist, 1988). K             6 ya  na kadar hedef nesneye uzanırken ellerini gerekenden fazla a  arlar (**  ekil 3.**). Ya   ilerledikçe hedef nesnenin boyutuna ve şekline uygun bir kavrama oluşur ve 6.-8. yaşlarında ellerini gerektiği gibi şekillendirebilirler (Wolff & ark., 2015). Kavramanın doğrultusunu nesneye uygun şekilde ayarlama ve yönlendirme becerisinin gelişimi ise 6. aydan başlayarak 15. ayda daha düzgün bir seviyeye gelecek şekilde gelişir (von Hofsten & R  nnqvist, 1988).

Şekil 3. Nesnenin kavranması için elin normalde fazla a  ılması.



Kaynak: Microsoft Designer, 2025. <https://designer.microsoft.com/image-creator>

Kuvvet kontrolünün kalibrasyonu, hassas kavramanın diğer önemli bileşenidir. Bu bileşen, kavranan nesnenin ezilmeyecek veya elden d        lmeyecek kadarlık bir kuvvetle tutulmasını sağlar. Kuvvetin belirli bir şiddet üzerinde olması, kavranan nesnenin ezilmesine ya da kırılmasına; altında olması ise nesnenin elden d        lmesine neden olur (Forssberg & ark., 1991). Kuvvet kontrolünü öngörebilme becerisi, ikinci yıldan başlayarak aşamalı olarak gelişir. Bu dönemin öncesinde ise bebekler kuvvet gelişimlerinde, bir geri bildirim mekanizmasına dayalı olarak kontrol ederler. Parmak ucu kuvvet kontrolü   rken çocukluk dönemi

boyunca ilerleyerek 6-9 yaşlarında gelişmiş düzeye ulaşır (Napier, 1956). Kavrama için oluşturulan kuvvet hedef nesnenin;

- Boyutuna,
- Şekline,
- Sürtünmesine,
- Ağırlığına ve
- Dokusuna bağlıdır. (Forssberg & ark., 1991; Gordon & ark., 1991)

3- Kavrama Paternleri

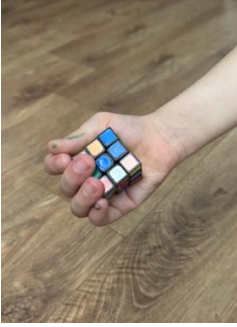
Günlük yaşamda kullandığımız çeşitli görevlerde birçok kavrama paterni yer alır. Günlük yaşam aktivitelerindeki bu spesifik kavrama paternleri nesnenin şekli, boyutu ya da kullanım amacı gibi çeşitli faktörlere göre oluşturulur. Literatürde kavrama paternleri (ya da tipleri) ile ilgili çeşitli sınıflandırmalar yer alsa da en genel tabirle kaba (kuvvetli) ve hassas kavrama olarak sınıflandırılmıştır. Kuvvet gerektiren kavrama aktiviteleri için genellikle kaba kavrama kullanılırken, ince el becerisi gerektiren aktiviteler için hassas kavrama paternleri kullanılır (Napier, 1956).

Kavrama paternlerinin sıralı bir şekilde gelişimi genel kabul görse de bazı araştırmacılar bu paternlerin ortaya çıkışının nesneye ve görevin gerekliliklerine göre geliştiğini belirtmişlerdir (Lantz & ark., 1996). Genel kavrama paterni gelişimi başparmağın dahil olmadığı, daha ulnar temelli, dört parmağın palmar kavramasıyla ortaya çıkmaktadır (Napier, 1956). (**Şekil 4.a.**)

Yedinci aydan itibaren radyal kavrama gelişimi başlar ve nesnenin avuç içine doğru bastırılması için radyal taraftaki parmaklar ve başparmak kullanılır. (**Şekil 4.b.**) Bebekler bu dönemde ön kol supinasyonu ile birlikte ellerini ve nesneleri sıklıkla ağızlarına götürmek suretiyle çeşitli nesneleri ve özelliklerini keşfetmeye

meyllidirler. Yine bu pozisyonda nesneleri bir ellerinden diğere kolayca transfer edebilirler (Wolff, 2020).

Şekil 4.a. Palmar kavrama



Şekil 4.b. Radial palmar kavrama



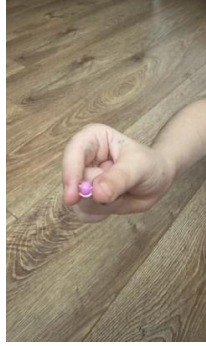
Günlük yaşam aktiviteleri açısından önemli olan hassas kavrama 8-9 ay civarında başlar. Bebeklerin çoğu elin palmar bölgesini kullanmadan parmak uçlarıyla bir nesneyi kavrayabilir. Ellerini bir yüzeyde sabitleyip, işaret parmaklarının laterali ve başparmakları arasında küçük nesneleri sıkıştırarak kavrayabilirler (makas kavrama). Nesnelerin kullanımı ve manipülasyonu açısından önemli bir aşamadır (Şekil 5.).

Şekil 5. Makaslama tutuşu – el bir yüzeyde sabitken nesne işaret parmağının laterali ile başparmak arasında kavranır



Onuncu ayda küçük nesneleri parmak uçlarıyla tutabilirler. İnför cımbız tip kavrama ya da işaret parmağı tip kavrama olarak adlandırılan bu kavrama paterni, “bırakma” için daha fazla kontrol sağlar. Daha fazla hassasiyet ve stabilizasyon sağlayan superior cımbız tip kavrama 12. ayda ortaya çıkar (Wolff, 2020).

Şekil 6.a. İnför cımbız tip kavrama – nesne başparmak ve işaret parmağı pulpaları arasında kavranır



Şekil 6.b. Superior cımbız tip kavrama – nesne başparmak ucu ile parmaklardan birinin ucu arasında kavranır



Çocuk artık nesnenin ağırlığı ve boyutu gibi fiziksel özelliklerine göre ayarlamalar da yapmaya başlar. On beşinci aydan başlayarak çeşitli kavramalardaki hassasiyeti ve becerisi artar. Zamanla becerileri gelişir ve 18. aya geldiğinde beslenme amacıyla kaşık kullanımı gibi araç-gereç kullanım becerisinde ve

manipölasyonunda gelişim görülür (Case-Smith, 2006; Napier, 1956).

Bırakma

Kavrama paternleri geliştikten sonraki evre “*bırakma*”dır. Başlarda, ilkel reflekslerin uyarılmasına yanıt olarak refleksif davranış şeklinde görülür (Twitchell, 1970). Beşinci-altıncı aylar arasında gelişigüzel ve rastgele görülürken, 6. ayda amaca yönelik ve kararlı bir tarza dönüşür. Özellikle yiyeceklerin ağza götürülmesi sırasında bu hareket açıkça gözlemlenebilir. Yedinci aydan itibaren nesneyi bir yüzeyin (Ör: sehpa) üzerine bırakmaya, bilateral transferini tutarlı bir şekilde gerçekleştirmeye başlar. Oyun bağlamında gelişmiş bırakma 10.-11. aylar civarında görülür (Case-Smith, 2006). Bu kavrama-bırakma aktivitesinden keyif alırlar ve nesneleri bazı yüzeylerden bilinçli olarak düşürüp tekrar alarak oyun kurarlar. Blokları üst üste dizmek gibi hassas bırakma aktivitesini kademeli el açmanın görüldüğü 12. ayda yapabilirler. Kavranan nesneyi yavaşça bırakma becerisi henüz gelişmediğinden, başlarda bırakırken sertçe nesneye bastırırlar. Küçük nesnelerin kontrollü biçimde bırakılmasını gerektiren gelişmiş görevlerin (bir kavanoz içerisine küçük nesneler koymak, yapboz parçalarını yerleştirmek gibi) gerçekleştirilebilmesi için 1-2 yaş arasında gelişimini sürdürür. Zamanlama ve kontrollü bırakma bu hassas görevlerde zorluk yaşayan 2-3 yaşındakiler için zorlayıcı olmaya devam eder. Bu yetenek, 5-6 yaşlarına kadar doğruluk, hız ve el becerisinin gelişimiyle birlikte ilerleyişini sürdürür (Case-Smith, 2006; Gesell, 1972).

Manipölasyon

Nesnelerin düzgün ve etkin biçimde manipüle edilebilmesi için parmaklar arasındaki hareketin ayırt edilmesi, kavrama kuvvetinin kalibrasyonu, hassas bırakmanın düzenlenmesi ve hız-zamanlamanın kontrolü becerilerinin birleşimi gerekir. Bu beceri

bebeklikten başlayarak ergenliğe kadar gelişmeye devam eder. Manipülasyon-öncesi (*Premanipulation*) davranış, kol hareketlerinin nesneleri keşfetmek için kullanıldığı erken bebeklik dönemi (1.-4. ay) gibi çok erken bir dönemde dahi görülür. Bir-iki aylık bir bebeğin eline bir nesne konulduğunda, bebek görsel alan içerisinde nesneyi hareket ettirmek için el bileğini, rotasyon yaparak çevirecektir. Ayrıca bebek istemli kol hareketleriyle nesneyi öteler ya da sallar. Parmaklarıyla dokunma ve tırmıklama davranışlarında 4 aylık iken artış görülmeye başlar (Pehoski, 1995). Nesnelerin keşfi 5-6 aylıkken nesneleri transfer etme becerisi ile gelişimini sürdürür. Altı aylık bebekler nesneleri döndürebilir, sallayabilir, onlara vurabilir hatta bir elinden diğerine geçirebilir. Dokuz-on aylık bebeklerde parmak hareketlerini ayırt etme ve bırakmanın kontrolü ile manipülasyon becerileri daha da gelişir ve dürtme, parmağını batırma ve küçük nesneleri toplamaya imkan tanır (Wolff, 2020).

Bir görev gerçekleştirilirken nesnenin uygun konuma yerleştirilmesi için parmak hareketleri ile ayarlanması olan “*el-içi manipülasyon*”, 1 yaşında gelişmeye başlar (Exner, 1990). Kavram ilk kez Exner tarafından tanımlanmıştır. Avuç içerisindeki nesneyi parmaklardan avuç içerisine doğru hareket ettirme ve basit rotasyon 2 yaşına kadar gelişir. Yazı yazmak için kalemin manipülasyonu gibi kompleks rotasyon hareketleri 7 yaşına kadar gelişmeye devam eder (Exner, 1990). Üç ile yedi yaşlar arasında düğme ilikleme, yazı yazma ve çatal-bıçak manipülasyonu gibi karmaşık manipülasyon becerilerinde yetkinlik kazanırlar. Bu hassas becerilerin gelişimi, eş zamanlı gelişen kavrama kuvvetinin uygun kalibrasyon yeteneğiyle ilişkilidir. Daha büyük yaştaki çocukların (6-12 yaş), parmak hareketlerinin doğruluğu gelişirken reaksiyon zamanı ve hızında da gelişim görülür. 12 yaşından itibaren ise ince motor koordinasyon ve doğruluk yetiştirme seviyesine ulaşır (Kuhtz-Buschbeck et al., 1998).

Bimanuel Fonksiyon

Kavrama için Bimanuel Uzanma

Günlük yaşam aktivitelerinin gerçekleştirilmesinde bimanuel fonksiyonun önemli bir yeri vardır. Çünkü bu aktivitelerin çoğu, her iki elin birlikte kullanımını gerektirir. İki el arasındaki zamanlama ve koordinasyonun düzenlenmesinde, fonksiyonel ve nöral kontrolün her ikisinin de rol aldığı karmaşık bir süreç yer alır. Bimanuel hareketler, itme-çekme, fırlatma ve kaldırmadaki gibi simetrik ya da bir elin stabilizasyondan diğerinin manipülasyondan sorumlu olduğu gibi asimetrik de olabilir. Hatta her iki el de klavyede yazı yazma ya da bir enstrüman çalma aktivitesindeki gibi farklılaştırılmış bir görevde bağımsız fonksiyon yapabilir (Swinnen & Wenderoth, 2004). Bimanuel fonksiyonda pek çok nöral yapının organizasyonu ve etkileşimi söz konusudur. Bimanuel koordinasyonun gelişimi hemisferleri birbirine bağlayan *korpus kallosumun* olgunlaşması ve miyelinlenmesiyle ilişkilidir (Fagard & ark., 2001). Erken evrelerde, tamamlanmamış olan bu bağlantılar birkaç yıl içerisinde gelişimini sürdürür ve sinir sistemindeki gelişimi takiben, karmaşık görevler için her iki elin zamanlamasını ve uzaysal koordinasyonunu regüle etme becerisiyle beraber *intermanuel kontrol* de gelişir (Fagard & ark., 2001). Ayrıca, postüral kontrol ve gövde kontrolü bimanuel görevlerin gerçekleştirilebilmesi için önemlidir.

Bimanuel Uzanma

Erken bebeklikten itibaren simetrik ve asimetrik kol hareketleri spontane genel hareketler olarak vardır. İstemli bimanuel uzanma ilk olarak 2. ayda her iki elin nesnelere uzandığı kaba simetrik hareketler şeklinde ortaya çıkar. Fakat *swiping* (kaydırma) hareketleri ağırlıklı olarak unilateral eğilimlidir (Case-Smith, 2006). Gövde stabilitesinin artmasıyla birlikte, yaklaşık 4. aydan itibaren simetrik bilateral uzanma daha baskın hale gelir. Beşinci ayla

birlikte, nesnelere doğru bilateral ve eşzamanlı uzanma davranışı gözlenir; bu da kavrama amacına yönelik bilateral yaklaşımın daha tutarlı bir düzeye ulaştığını göstermektedir. Ancak tüm bu motor gelişimlere rağmen kavrama, bu dönemde halen unilateraldir (Case-Smith, 2006; Charles, 2008; Lobo & ark., 2013).

Bimanuel Kavrama

Dördüncü-beşinci aylar civarında, bilateral kavramadan önce bilateral parmak kullanımı gözlenir ve sonrasında nesnelere genellikle iki elle uzanmaya çalışırlar. Bu dönemde, eş zamanlı ve ardışık bilateral uzanma-kavrama paternleri bir arada görülür (Case-Smith, 2006).

Şekil 7. Tek nesnenin simetrik bilateral kavranması



Yaklaşık yedinci ayda, bebeklerin nesnelere unilateral ya da bilateral yaklaşımı nesnenin boyutu, konumu ve çevresel destek gibi faktörlere göre çeşitlilik gösterir. Büyük nesnelerin kavranmasında genellikle bilateral, küçük nesneler içinse unilateral stratejiler tercih edilir. Desteksiz bir ortamda, stabilizasyon için bir kolunu kullanırken diğer kolunu unilateral kullanmayı tercih edebilirler. Sekizinci ve on birinci aylar arasında, postüral ve motor kontrolün gelişmesi sonucu belirli dışsal sınırlayıcılar olmaksızın hem bimanuel hem de unimanuel stratejilerin daha belirgin ve esnek

biçimde kullanılabilmesi mümkün hale gelir (Corbetta & Thelen, 1996; Greaves & ark., 2012).

Bimanuel Manipölasyon

Bir elden diğetine transfer, 4.-6. ay gibi erken bir dönemde belirgin hale gelir. Radyal kavrama becerisi geliştikçe, 7.-8. aydan itibaren daha tutarlı ve akıcı şekilde gerçekleştirilir (Pierce & ark., 2009). Yine bu dönemde bebekler, iki nesneyi birbirine vurarak, sallayarak veya bir yüzeye vurarak oynarlar (McCall, 1974).

Şekil 8. İki farklı nesnenin simetrik bilateral kavranması



Bimanuel sıkma, birbirinden ayırma ve beraber itmeyi içeren simetrik bimanuel becerilerin gelişimi devam eder. Çok parçalı oyuncaklar bu aktiviteleri teşvik ettiği için terapilerde kullanılır (Greaves & ark., 2012). Asimetrik beceriler, bir el nesneyi kavrarken diğere elin keşif davranışına izin vermesi için eşzamanlı gelişir. Dokuzuncu aydan itibaren artık çocuk pek çok bimanuel beceriye sahiptir. Elinin biriyle nesnenin pozisyonunu ayarlarken diğere eliyle manipüle edebilir (Kimmerle & ark., 2010). Kavrama oryantasyonu becerisinin kazanılmasını takiben, çocuklarda nesneleri döndürme ve yeniden konumlandırma yetileri gelişmeye başlar. Bu beceriler, özellikle 9–12 aylar arasında, el koordinasyonunun artması ve iki el arasındaki işlevsel bağımsızlığın gelişmesiyle birlikte belirginleşir. Bu dönemde çocuklar, bir oyuncak her iki eliyle koordine şekilde

döndürebilecek düzeye gelirler. Bir ila iki yaş aralığında ise bimanuel becerilerde belirgin bir ilerleme gözlenir. Çocuklar bu dönemde, simetrik bimanuel görevler arasında yer alan davul çalma gibi daha karmaşık aktivitelerde artan bir yetkinlik sergilerler. Aynı zamanda, her iki elin farklı amaçlarla eşzamanlı olarak kullanıldığı asimetrik görevlerde de beceri kazanımı dikkat çeker. Örneğin, bir nesnenin diğerinin içinden çıkarılması ya da küçük boncukların dizilmesi gibi aktivitelerde her elin bağımsız fakat koordineli kullanımı gelişir (Greaves & ark., 2012).

Yaklaşık 2–4 yaş aralığı, çocukların düğme ilikleme, fermuar çekme ya da ambalaj açma gibi her iki elin bağımsız ancak eş zamanlı ve koordineli kullanımını gerektiren daha karmaşık görevlerde beceri kazanmaya başladıkları dönemdir. Bu tür aktiviteler, bimanuel koordinasyonun daha ileri düzeyde işlevsel kullanımını yansıtır. Erken çocukluktan ergenlik dönemine kadar uzanan süreçte, bilişsel ve algısal becerilerdeki gelişimle paralel olarak bimanuel koordinasyon becerileri de giderek karmaşıklaşır. Bu gelişim, iki elin birlikte kullanıldığı ancak görevlerinin farklılaştığı tamamlayıcı (örneğin makas kullanımı) ya da karmaşık (örneğin yiyecekleri kesme gibi alet kullanımı gerektiren) bimanuel aktivitelerin gerçekleştirilmesini mümkün kılar. Erken ergenlik döneminde ise hız, zamanlama, etkinlik ve doğruluk açısından önemli ilerlemeler kaydedilir ve bu beceriler zamanla yetişkinlik düzeyine yakın bir yeterliliğe ulaşır (Wolff, 2020).

Elin Yapısı ve Mekanizması

El fonksiyonları, kaslar ve o kaslara etki eden sinirlerin çalışmasına bağlıdır. Elin, kaslar ve sinirlerin birlikte çalışmasıyla oluşturduğu muhteşem bir mekanizması vardır. (**Tablo 1.**)

El fonksiyonlarının etkinliği, el kasları ile bu kasları inerve eden sinirlerin düzgün ve koordineli çalışmasına bağlıdır. Kaslar ve sinirler arasındaki bu etkileşim, elin ince ve karmaşık motor

becerilerini gerçekleştirebilmesini sağlayan yüksek düzeyde organize bir nöromüsküler sistemi oluşturur.

Tablo 1. Elin kas ve sinirlerinden oluşan mekanizma

Bölge	Kas	Mekanizma	Sinir
Tenar Kaslar	M. Opponens pollicis	Başparmağın oppozisyonu	N. Medianus'un rekürren dalı (C8, T1)
	M. Abductor pollicis brevis	Başparmağın abdüksiyonu	N. Medianus'un rekürren dalı (C8, T1)
	M. Flexor pollicis brevis	Başparmağın fleksiyonu	N. Medianus'un rekürren dalı (C8, T1)
Adduktör Kompartman	M. Adductor pollicis	Başparmağın addüksiyonu	N. Ulnaris'in derin dalı (C8, T1)
Hipotenar Kaslar	M. Abductor digiti minimi	Küçük parmağın abdüksiyonu	N. Ulnaris'in derin dalı (C8, T1)
	M. Flexor digiti minimi brevis	Küçük parmağın fleksiyonu	N. Ulnaris'in derin dalı (C8, T1)
	M. Opponens digiti minimi	Küçük parmağın oppozisyonu	N. Ulnaris'in derin dalı (C8, T1)
Kısa Kaslar	Mm. Lumbricales	Metakarpofalangeal eklemlerin fleksiyonu (İnterfalangeal eklemlerin ekstansiyonu ile)	Lateral iki lumbrikal için N. Medianus (C8, T1), medial iki lumbrikal için N. Ulnaris'in derin dalı (C8, T1)
	Mm. İnterossei dorsales	İkinci, üçüncü ve dördüncü parmakların abdüksiyonu	N. Ulnaris'in derin dalı (C8, T1)
	Mm. İnterossei palmares	İkinci, üçüncü ve dördüncü parmakların addüksiyonu	N. Ulnaris'in derin dalı (C8, T1)

Kaynak: Raszewski & ark., 2023

Elin Fonksiyonu

El tendonlar, bağlar ve kemiklerden oluşur. Parmakların *falanks*larında 14, metakarpal kemiklerde 5 ve karpal kemiklerde 8 olmak üzere; her bir elde toplam 27 kemik yer alır. Eldeki kemikler, ligamentler ile pozisyonlandırılır ve birbirine bağlanırlar. Kasları kemiklere bağlayan tendonlar ise fleksör ve ekstansör bileşenler olarak ikiye ayrılırlar. Fleksör tendonlar elin palmar, ekstansör tendonlar ise elin dorsal tarafında bulunur. Elin motor ve duyuşal fonksiyonları median, ulnar ve radial sinirler tarafından gerçekleştirilir. Median sinir *tenar* kasları, işaret ve orta parmak lumbrikal kaslarını inerve ederken; eldeki geri kalan tüm diğer intrinsik kasların inervasyonu ulnar sinir tarafından gerçekleştirilir. Elin bu unsurlarından herhangi birinin fonksiyonundaki bozukluk yaralanmaya ya da bozukluğa neden olabilir. Bu durum da sonuç olarak fonksiyonel kayıplara ve engelliğe neden olur (Leow & ark., 2017).

Patofizyoloji

Embriyonik dönemde, öncelikle *sefalokaudal* eksen boyunca ekstremiteler alanlarının pozisyonları belirlenir. Ekstremiteler tomurcuğu, mezenşimal bir hücre kütlesi olarak vücuttan dışarı doğru büyür (Koussoulakos, 2004).

Ekstremiteler malformasyonlarının ilk türü, ekstremitenin belirli bir alanındaki gelişimin durmasını ifade eden **formasyon bozukluğudur**. Transvers defisitler omuz, kol, önkol, karpal, metakarpal ve falangeal yapılar gibi alanlarda konjenital amputasyonlara neden olur. Longitudinal defisitler ise *fokomeli* gibi kısmi kayıplardan tam kayıplara değişiklik gösterebilen, tam iskelet ekstremiteler defisitlerini içerir. Ekstremiteler malformasyonlarının ikinci türü, ekstremitenin temel yapısal birimlerinin gelişmesine karşın, nihai anatomik formun tamamlanamamasıyla karakterize edilen **farklılaşma bozukluklarıdır**. Bu grupta yer alan malformasyonlar,

doku ve yapıların ayrışma süreçlerinde meydana gelen aksamaları yansıtır. *Sindaktili* (parmakların tam ya da kısmi olarak birbirine yapışık olması), bu tür farklılaşma bozukluklarına tipik bir örnek olarak gösterilebilir. Üçüncü tür malformasyonlar, gelişim sürecinde apikal ektodermal çıkıntındaki bir hasardan kaynaklı **duplikasyondur**. Örneğin; *polidaktili* (fazla veya çoklu parmak). Dördüncü tür genellikle parmaklarda görülen, **aşırı büyüme** şeklinde bilinen ve kalıtsal olmayan **konjenital bir genişlemedir**. Beşinci tür, fetal dönemde **yetersiz büyümenin** neden olduğu *hipoplazi* veya **yetersiz büyüme** olarak gösterilir. Son kategori ise, konjenital ekstremité bant sendromu olarak adlandırılan, ekstremitenin etrafını saran bantların yol açtığı daralma ve buna bağlı olarak ilgili bölgenin kısmi ya da tam kaybıyla sonuçlanan malformasyonları kapsar (Van Heest, 1996).

Kaynakça

Al-Qattan, M. (2014). Formation of normal interdigital web spaces in the hand revisited: implications for the pathogenesis of syndactyly in humans and experimental animals. *Journal of Hand Surgery (European Volume)*, 39(5), 491-498.

Berthier, N. E., & Keen, R. (2006). Development of reaching in infancy. *Experimental brain research*, 169, 507-518.

Bosanquet, M., Copeland, L., Ware, R., & Boyd, R. (2013). A systematic review of tests to predict cerebral palsy in young children. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 55(5), 418-426.

Bruner, J. S., & Koslowski, B. (1972). Visually preadapted constituents of manipulatory action. *Perception*, 1(1), 3-14.

Case-Smith, J. (2006). Hand skill development in the context of infants' play: Birth to 2 years. In J. Case-Smith (Ed.), *Hand function in the child: Foundations for remediation* (pp. 117–141). Mosby.

Charles, J. R. (2008). Typical and atypical development of the upper limb in children. *Clinics in Developmental Medicine*, 178(1), 147-159.

Cole, P., Kaufman, Y., Hatef, D. A., & Hollier Jr, L. H. (2009). Embryology of the hand and upper extremity. *Journal of Craniofacial Surgery*, 20(4), 992-995.

Corbetta, D., & Thelen, E. (1996). The developmental origins of bimanual coordination: a dynamic perspective. *Journal of experimental psychology: Human perception and performance*, 22(2), 502.

Einspieler, C., & Prechtl, H. F. (2005). Prechtl's assessment of general movements: a diagnostic tool for the functional

assessment of the young nervous system. *Mental retardation and developmental disabilities research reviews*, 11(1), 61-67.

Eker, O., Demirtaş, S., Yıldırım, G., & Tosun, Z. (2023). Konjenital anomalilere yaklaşım. *Türkiye Klinikleri Plastic Surgery - Special Topics*, 12(1), 56–64.

Exner, C. E. (1990). The zone of proximal development in in-hand manipulation skills of nondysfunctional 3-and 4-year-old children. *The American Journal of Occupational Therapy*, 44(10), 884-891.

Fagard, J., Hardy-Léger, I., Kervella, C., & Marks, A. (2001). Changes in interhemispheric transfer rate and the development of bimanual coordination during childhood. *Journal of experimental child psychology*, 80(1), 1-22.

Ferrari, F., Prechtl, H. F., Cioni, G., Roversi, M. F., Einspieler, C., Gallo, C., Paolicelli, P. B., & Cavazzuti, G. B. (1997). Posture, spontaneous movements, and behavioural state organisation in infants affected by brain malformations. *Early human development*, 50(1), 87-113.

Forssberg, H., Eliasson, A.-C., Kinoshita, H., Johansson, R. S., & Westling, G. (1991). Development of human precision grip I: Basic coordination of force. *Experimental brain research*, 85, 451-457.

Gesell, A. (1972). The first five years of life. *British Journal of Educational Studies*, 20(2).

Gordon, A., Forssberg, H., Johansson, R., & Westling, G. (1991). The integration of haptically acquired size information in the programming of precision grip. *Experimental brain research*, 83, 483-488.

Greaves, S., Imms, C., Krumlinde-Sundholm, L., Dodd, K., & Eliasson, A.-C. (2012). Bimanual behaviours in children aged 8–18 months: A literature review to select toys that elicit the use of two hands. *Research in developmental disabilities*, 33(1), 240-250.

Jakobson, L., & Goodale, M. A. (1991). Factors affecting higher-order movement planning: a kinematic analysis of human prehension. *Experimental brain research*, 86, 199-208.

Jeannerod, M. (1984). The timing of natural prehension movements. *Journal of motor behavior*, 16(3), 235-254.

Kimmerle, M., Ferre, C. L., Kotwica, K. A., & Michel, G. F. (2010). Development of role-differentiated bimanual manipulation during the infant's first year. *Developmental Psychobiology: The Journal of the International Society for Developmental Psychobiology*, 52(2), 168-180.

Konczak, J., & Dichgans, J. (1997). The development toward stereotypic arm kinematics during reaching in the first 3 years of life. *Experimental brain research*, 117, 346-354.

Koussoulakos, S. (2004). Vertebrate limb development: from Harrison's limb disk transplantations to targeted disruption of Hox genes. *Anatomy and embryology*, 209, 93-105.

Kuhtz-Buschbeck, J., Stolze, H., Boczek-Funcke, A., Jöhnk, K., Heinrichs, H., & Illert, M. (1998). Kinematic analysis of prehension movements in children. *Behavioural brain research*, 93(1-2), 131-141.

Kwong, A. K., Fitzgerald, T. L., Doyle, L. W., Cheong, J. L., & Spittle, A. J. (2018). Predictive validity of spontaneous early infant movement for later cerebral palsy: a systematic review. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 60(5), 480-489.

Lacroix, B., Wolff-Quenot, M.-J., & Haffen, K. (1984). Early human hand morphology: an estimation of fetal age. *Early human development*, 9(2), 127-136.

Lantz, C., Melén, K., & Forssberg, H. (1996). Early infant grasping involves radial fingers. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 38(8), 668-674.

Leow, M. Q. H., Lim, R. Q. R., & Tay, S. C. (2017). Clinical assessment and diagnostics of patients with hand disorders: A case study approach. *Orthopaedic Nursing*, 36(3), 186-191.

Lobo, M., Galloway, J., & Heathcock, J. C. (2015). Characterization and intervention for upper extremity exploration & reaching behaviors in infancy. *Journal of Hand Therapy*, 28(2), 114-125.

Lobo, M. A., Harbourne, R. T., Dusing, S. C., & McCoy, S. W. (2013). Grounding early intervention: physical therapy cannot just be about motor skills anymore. *Physical therapy*, 93(1), 94-103.

McCall, R. B. (1974). Exploratory manipulation and play in the human infant. *Monographs of the society for research in child development*, 1-88.

Napier, J. R. (1956). The prehensile movements of the human hand. *The Journal of Bone & Joint Surgery British Volume*, 38(4), 902-913.

Ouss, L., Le Normand, M.-T., Bailly, K., Leitgel Gille, M., Gosme, C., Simas, R., Wenke, J., Jeudon, X., Thepot, S., & Da Silva, T. (2018). Developmental trajectories of hand movements in typical infants and those at risk of developmental disorders: an observational study of kinematics during the first year of life. *Frontiers in Psychology*, 9, 83.

Pehoski, C. (1995). Object manipulation in infants and children. In J. Case-Smith (Ed.), *Hand function in the child: Foundations for remediation* (pp. 136–153). Mosby.

Pierce, D., Munier, V., & Myers, C. T. (2009). Informing early intervention through an occupational science description of infant–toddler interactions with home space. *The American Journal of Occupational Therapy*, 63(3), 273-287.

Prechtl, H. F., Einspieler, C., Cioni, G., Bos, A. F., Ferrari, F., & Sontheimer, D. (1997). An early marker for neurological deficits after perinatal brain lesions. *The Lancet*, 349(9062), 1361-1363.

Raszewski, J. A., Black, A. C., Launico, M. V., & Varacallo, M. (2023). Anatomy, shoulder and upper limb, hand compartments. In StatPearls. StatPearls Publishing. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK538304/>

Sammer, D. M., & Chung, K. C. (2009). Congenital hand differences: embryology and classification. *Hand clinics*, 25(2), 151-156.

Shumway-Cook, A. (2007). *Motor control: Translating research into clinical practice* (3rd ed.). Lippincott Williams & Wilkins.

Swinnen, S. P., & Wenderoth, N. (2004). Two hands, one brain: cognitive neuroscience of bimanual skill. *Trends in cognitive sciences*, 8(1), 18-25.

Thirkannad, S. M., & Patil, R. (2021). The Story of the Hand. *Indian Journal of Plastic Surgery*, 54(02), 106-113.

Twitchell, T. E. (1970). Reflex mechanisms and the development of prehension. *Mechanisms of motor skill development*, 25-38.

Van Heest, A. E. (1996). Congenital disorders of the hand and upper extremity. *Pediatric Clinics*, 43(5), 1113-1133.

von Hofsten, C. (1991). Structuring of early reaching movements: a longitudinal study. *Journal of motor behavior*, 23(4), 280-292.

von Hofsten, C., & Fazel-Zandy, S. (1984). Development of visually guided hand orientation in reaching. *Journal of experimental child psychology*, 38(2), 208-219.

von Hofsten, C., & Rönqvist, L. (1988). Preparation for grasping an object: a developmental study. *Journal of experimental psychology: Human perception and performance*, 14(4), 610.

Wallace, P. S., & Whishaw, I. Q. (2003). Independent digit movements and precision grip patterns in 1–5-month-old human infants: hand-babbling, including vacuous then self-directed hand and digit movements, precedes targeted reaching. *Neuropsychologia*, 41(14), 1912-1918.

Wolff, A. (2020). Hand function: Typical development. In *Pediatric hand therapy* (pp. 13-23). Elsevier.

Wolff, A. L., Raghavan, P., Kaminski, T., Hillstrom, H. J., & Gordon, A. M. (2015). Differentiation of hand posture to object shape in children with unilateral spastic cerebral palsy. *Research in developmental disabilities*, 45, 422-430.

Zoia, S., Blason, L., D'Ottavio, G., Biancotto, M., Bulgheroni, M., & Castiello, U. (2013). The development of upper limb movements: from fetal to post-natal life. *PLoS One*, 8(12), e80876.

Zoia, S., Blason, L., D'Ottavio, G., Bulgheroni, M., Pezzetta, E., Scabar, A., & Castiello, U. (2007). Evidence of early

development of action planning in the human foetus: a kinematic study. *Experimental brain research*, 176, 217-226.

ELİN ANATOMİK VE BİYOMEKANİK TEMELLERİ İLE KLİNİK DEĞERLENDİRME

İREM AKGÜN²

Giriş

İnsan eli, karmaşık yapısal özellikleri ve yüksek düzeyde işlevselliği ile motor kontrol sisteminin en gelişmiş organlarından biridir. Elin fonksiyonlarını anlayabilmek için öncelikle onun anatomik bütünlüğünü ve biyomekanik özelliklerini kavramak gerekir. Bu bölümde, elin kemik, eklem, kas, tendon ve sinir yapıları gibi temel anatomik bileşenleri işlevsel açıdan ele alınacak; bu yapılar arasındaki etkileşimlerin kavrama, manipülasyon ve ince motor becerilere nasıl katkı sağladığı biyomekanik bakış açısıyla incelenecektir. Ayrıca, elin klinik değerlendirmesinde kullanılan güncel ölçme araçları ve bu araçların hangi yapısal ve işlevsel parametreleri yansıttığı açıklanacaktır. El gelişimine ilişkin önceki bilgiler ışığında, bu bölüm elin karmaşık yapısının anatomik ve mekanik temellerine dayalı olarak işlevsel kapasitesinin nasıl değerlendirilebileceğini ortaya koymayı amaçlamaktadır.

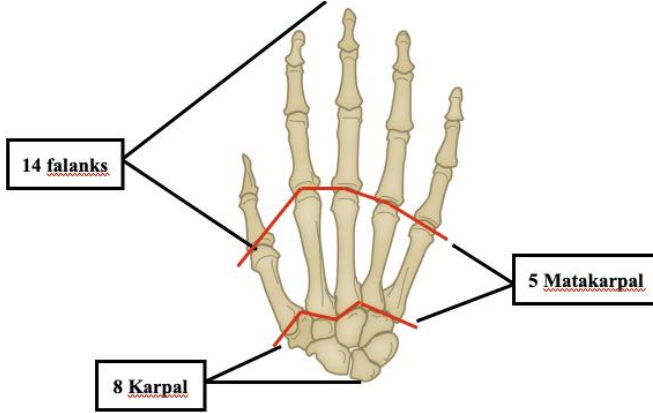
² Arş. Gör., Gaziantep Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü, Orcid: 0000-0001-5265-5904

Elin Fonksiyonel Anatomisi

Kemikler

El kompleksi 27 kemikten oluşan bir iskelet yapısına sahiptir. Bu kemikler; 8 karpal, 5 metakarpal ve 14 falanks olmak üzere üç ana gruba ayrılır (Şekil 1) (Maw & ark., 2016).

Şekil 1. İnsan Elinin Anatomik Kemik Yapısı

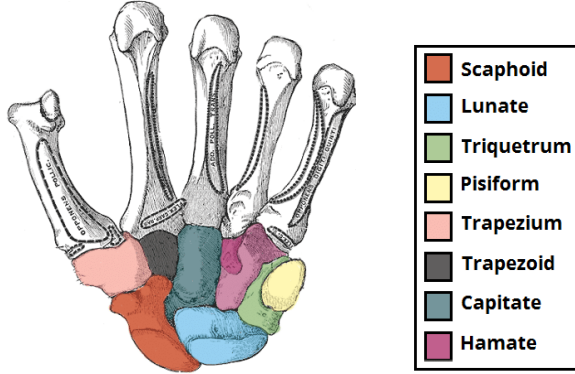


Kaynak: (Slagter - Drawing Bones hand dorsal side - no labels | AnatomyTOOL, t.y.)

En proksimalde yer alan karpal kemikler, el bileğini oluşturan sekiz küçük kemikten meydana gelir ve iki sıra halinde dizilir. Proksimal sırada radius ile eklem yapan scaphoid, lunate, triquetrum ve pisiform kemikleri bulunur. Distal sırayı ise başparmakla eklem yapan trapezium, ardından trapezoid, capitate ve hamate oluşturur (Şekil 2). Karpal kemiklerin distalinde yer alan beş metakarpal kemik, avuç içi yapısını oluşturur ve her biri bir parmağın temelini oluşturur. Metakarpallerin her biri bir proksimal uç, bir gövde ve bir distal uç kısmından oluşur; proksimal uçları karpal kemiklerle, distal uçları ise falankslarla eklem yapar. En distalde yer alan falankslar ise parmak kemiklerini oluşturur ve toplam 14 adettir. Her parmakta bir proksimal falanks, bir distal

falanks bulunurken; yalnızca başparmak dışında kalan parmaklarda ayrıca bir orta falanks yer alır. Bu nedenle başparmakta iki falanks, diğer parmaklarda ise üç falanks bulunur (Maw & ark., 2016).

Şekil 2. Karpal Kemiklerin Palmar Görünümü (Sol El)



Kaynak: (Agrawal, 2019)

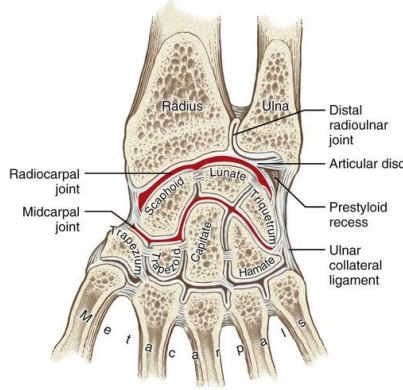
Eklemler

Elin hareketliliğini ve fonksiyonel bütünlüğünü sağlayan yapılardan biri, el bileği ve el iskeletini oluşturan kemikler arasındaki eklemlerdir. En proksimalde yer alan distal radioulnar eklem, radius ve ulna arasındaki rotasyonel hareketlerin gerçekleştirilmesini sağlayan bu yapı özellikle pronasyon ve supinasyon hareketlerinde önemlidir (Omokawa & ark., 2017). Bu yapının distalinde yer alan radiokarpal eklem, radius ile proksimal sıra karpal kemikler (özellikle scaphoid ve lunate) arasında yer alır ve el bileğinin fleksiyon, ekstansiyon, radial ve ulnar deviasyon hareketlerinden sorumludur. Radiokarpal eklemin distalinde bulunan midkarpal eklem, karpal kemiklerin proksimal ve distal sıraları arasında bulunur ve el bileği hareketinin büyük kısmının gerçekleştiği eklemdir. Bu eklem anatomik olarak iki bölüme ayrılır:

- Medial kompartman, capitate ve hamate ile scaphoid, lunate ve triquetrum arasında yer alırken;

- Lateral kompartman, trapezium ve trapezoid ile scaphoid arasında yer alır (Şekil 3) (Wadsworth, 1983).
- Midkarpal eklem, el bileği hareketlerinin tamamlayıcı kısmını sağlayarak geniş bir hareket açıklığına katkıda bulunur.

Şekil 3. Distal Radioulnar, Radiokarpal, Midkarpal Eklemlerin Anatomik Yerleşimi



Kaynak: (Themes, 2016)

Karpal kemikler arasındaki bağlantıyı sağlayan küçük düz eklemler olan interkarpal eklemler, el bileğinin stabilitesini artırır ve yük dağılımına katkı sağlar. Bu eklemler birlikte çalışarak elin karmaşık hareketlerinin koordineli bir biçimde gerçekleştirilmesini sağlar (Maw & ark., 2016).

Ligamentler

Elin stabilitesi ve kontrollü hareket açıklığı, sadece kemik yapılar ve kaslarla değil, bu yapılar arasındaki bağlantıyı sağlayan güçlü **ligamentöz yapılar** aracılığıyla da sağlanır. El bileği ve parmak eklemlerinde yer alan ligamentler hem pasif stabiliteyi destekler hem de eklem hareketlerini sınırlayarak aşırı zorlanmaları önler.

Parmaklarda yer alan **kollateral ligamentler**, her parmağın ve başparmağın her iki yanında konumlanarak özellikle fleksiyon sırasında eklem yanlara kaymasını engeller ve lateral stabilite sağlar. El bileği seviyesinde bulunan **radial ve ulnar kollateral ligamentler**, bileğin radial ve ulnar yönlerdeki deviasyon hareketleri sırasında dengeyi korur ve karpal kemikler ile radius-ulna arasında kuvvetli bir bağ oluşturur (Rozmaryn, 2017).

Volar radiokarpal ligamentler, el bileğinin palmar tarafında yer alır ve elin fleksiyon hareketleri sırasında stabiliteyi sağlayan başlıca pasif yapılardandır. Bu ligamentler, radius'tan başlayarak scaphoideum, lunatum ve capitatum gibi karpal kemiklere uzanır. Elin dorsal yüzeyinde bulunan **dorsal radiokarpal ligamentler** ise ekstansiyon hareketlerinde el bileği arka bölgesine destek sağlar ve dorsal yöndeki zorlanmaları sınırlar (Rozmaryn, 2017).

Ayrıca el bileği kompleksinin genel bütünlüğünü sağlayan iki temel yapı olan **ulnokarpal ligament** ve **radioulnar ligament**, radius ve ulna arasındaki dengeyi sağlamakla birlikte karpal kemiklerin distal önkol yapılarıyla uyumlu çalışmasına olanak tanır. Bu ligamentler özellikle **distal radioulnar eklem** stabilitesinde kritik rol oynar. Bu ligamentöz yapılar, elin karmaşık ve hassas hareketlerini mümkün kılan temel pasif denge unsurlarıdır; yaralanmaları ise instabiliteye ya da ciddi fonksiyonel kayıplara yol açabilecek düzeyde klinik önem taşır (DiTano & ark., 2003).

Kaslar

Elin hareketliliği ve fonksiyonel kapasitesi, kasların koordineli çalışmasıyla sağlanır. Elde, el bileği ve parmak hareketlerinde rol oynayan toplam **34 kas** bulunur. Bu kaslar **intrinsik** ve **ekstrinsik kaslar** olarak iki gruba ayrılır: (Dawson-Amoah & Varacallo, 2025).

El içerisinde başlayan ve el içerisinde sonlanan intrinsik kaslar, karpal ve metakarpal kemiklerden orijin alarak parmaklara kadar uzanır. Bu kaslar; tenar, hipotenar, lumbrikal ve interosseöz kas gruplarını içerir. Özellikle **hassas ve ince motor becerilerin** (örneğin yazı yazma, düğme ilikleme, küçük nesne manipülasyonu) gerçekleştirilmesinde kritik rol oynarlar (Gonzalez & Netscher, 2016). İntrinsik kaslar, parmakların metakarpofalangeal (MKF) fleksiyonu ile birlikte interfalangeal (İF) eklemlerinin ekstansiyonunu sağlayarak elin beceri gerektiren görevlerde etkin kullanılmasını mümkün kılar.

Öte yandan, **ekstrinsik kaslar** önkoldan orijin alır ve uzun tendonlar aracılığıyla el ve parmaklara etki eder. Bu kaslar arasında fleksör **digitorum superficialis**, fleksör **digitorum profundus**, ekstansör **digitorum** gibi güçlü kaslar yer alır. Ekstrinsik kaslar elin ve parmakların **kuvvetli kavrama, taşıma ve itme-çekme gibi görevlerde** kullanılmasına olanak tanır (Johnston & ark., 2010).

El kaslarının bu çift yönlü yapısı sayesinde hem güçlü hem de hassas hareketler büyük bir kontrolle yapılabilir. Bu fonksiyonel denge, elin anatomik ve nöromüsküler yapısının ne kadar özel ve uyumlu bir sistem oluşturduğunu ortaya koyar. El kaslarındaki bozukluklar hem motor kontrol kaybına hem de fonksiyonel bağımsızlıkta ciddi kayıplara yol açabileceği için klinik değerlendirme ve rehabilitasyon süreçlerinde bu ayrım büyük önem taşır.

Fleksör ve Ekstansör Tendon Sistemleri

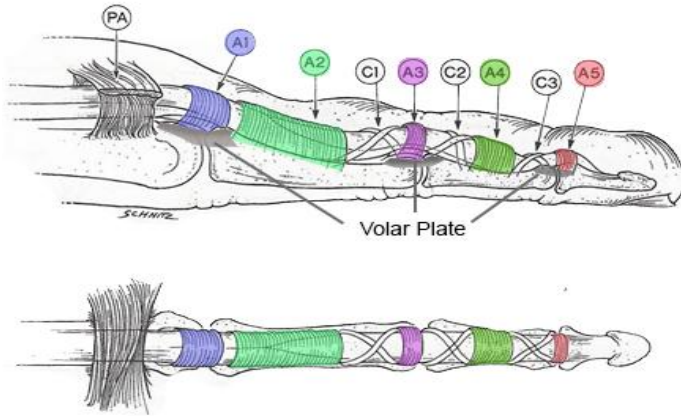
Fleksör Tendonlar ve Pulley Sistemi

Parmakların fleksiyonu, önkoldan orijin alan fleksör **digitorum superficialis** ve fleksör **digitorum profundus** kaslarının tendonları aracılığıyla sağlanır. Bu tendonlar, metakarpal seviyeden

başlayarak parmaklara uzanır ve kemiğe paralel bir yol izler. Tendonların bu yönde düzenli ve etkili bir şekilde hareket edebilmesi için, tendonları kemiklere yakın tutan ve yönlendiren bir sistem olan **pulley sistemi** görev alır.

Pulley yapıları iki gruba ayrılır: **annular** (A1–A5) ve **cruciate** (C1–C3) pulley'ler (Şekil 4). Bu yapılar, fleksör tendonların parmak eklemlerinde "bowstringing" yapmasını engellerken, aynı zamanda tendonların eklem etrafındaki moment kolunu da optimize eder. Özellikle A2 ve A4 pulley'leri, tendonların kemik yüzeyine en yakın ve biyomekanik olarak en verimli şekilde çalıştığı bölgelerde yer alır. Pulley sisteminin bozulması, tendon hareketini engelleyerek kavrama kuvvetinde azalma ve fonksiyon kaybına yol açabilir (Campbell & ark., 2020; Zafonte & ark., 2014).

Şekil 4. Pulley Sistemi



Kaynak: (Campbell & ark., 2020)

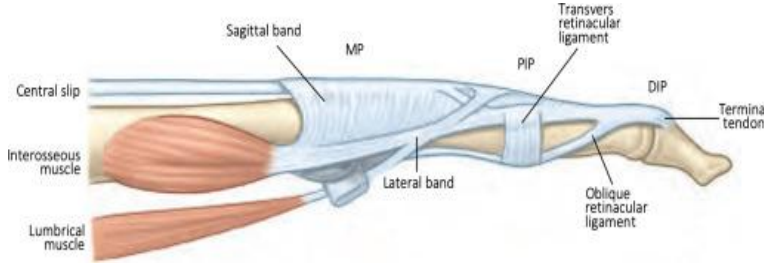
Ekstansör Tendonlar ve Ekstansör Mekanizma

Elin dorsumunda yer alan ekstansör tendonlar, önkolda yer alan ekstansör **digitorum communis**, ekstansör **indicis proprius**, ekstansör **digiti minimi** gibi kaslardan uzanır. Bu

tendonlar, her bir parmağın dorsaline ilerleyerek **kompleks bir ekstansör mekanizmaya** katılır. Bu yapı, parmakların kontrollü ekstansiyonu ve özellikle **ince motor görevlerde** parmak pozisyonlaması açısından kritik rol oynar (Giele & Sammut, 2006).

Ekstansör mekanizma; **santral slip, lateral bağlar, sagittal bağlar ve terminal tendon** gibi yapılardan oluşur. **Santral slip**, proksimal interfalangeal (PİF) eklemine yapışarak orta falanksın ekstansiyonunu sağlar. **Lateral bantlar**, iki yandan distal interfalangeal (DİF) eklemine kadar uzanır ve distal falanksın ekstansiyonuna olanak tanır (Şekil 5). Ek olarak, **lumbrikal ve interosseöz kaslar**, bu mekanizmaya katılarak MKF ekleminde fleksiyon ile birlikte İF eklemlerinde ekstansiyonu koordine eder. Böylece ekstansör sistem, yalnızca ekstansiyon değil, **parmakların stabil pozisyonlanması ve senkronize kontrolü** için de çalışır (Colzani & ark., 2016; Schubert & Giunta, 2014).

Şekil 5. Ekstansör Tendon Mekanizması



Kaynak: (Schubert & Giunta, 2014)

Elin Biyomekaniği

El, hem kuvvetli kavrama hem de hassas manipülasyon becerilerini gerçekleştirebilen karmaşık bir biyomekanik sistemdir. Bu sistemin başarısı; kemik yapılar, eklemler, kaslar, tendonlar, sinirler ve bağ dokularının yüksek düzeyde koordinasyonuna dayanır. Elin biyomekanik özellikleri, sadece günlük yaşam faaliyetleri için değil, aynı zamanda klinik değerlendirme ve

rehabilitasyon süreçleri için de büyük önem taşımaktadır (K.-S. Lee & Jung, 2015).

Kavrama ve Manipülasyon Hareketlerinin Kinematığı

El fonksiyonlarının temelini oluşturan kavrama ve manipülasyon hareketleri, farklı eklem düzlemlerinde gerçekleşen çok yönlü hareketleri kapsar. Kavrama sırasında parmaklar fleksiyona gelirken, başparmak karşıya uzanarak (*oppozisyon*) nesneyi sabitler. Kavrama, genellikle güçlü ve stabil bir pozisyon gerektirirken; manipülasyon, daha çok parmak uçlarının bağımsız ve hassas hareketlerini içerir. Bu hareketlerin kinematik analizi, MKF, PİF ve DİF eklemlerdeki açısal değişikliklerin eş zamanlı ve senkronize bir şekilde gerçekleştiğini gösterir. Elin rotasyonel yeteneği, başparmak ve el bileğinin kombine hareketleriyle oluşurken; elin kompleks koordinasyonu ise özellikle intrinsik kasların katkısıyla sağlanır (Gustus & ark., 2012; K.-S. Lee & Jung, 2015).

Parmakların Eklem Açıları, Moment Kolları ve Kas Kuvvetleri

Parmakların hareketi, kasların oluşturduğu kuvvetin eklemler üzerinden iletilmesiyle sağlanır. Bu iletimde en önemli biyomekanik değişkenlerden biri moment koludur. Moment kolu, bir kasın tendonunun eklem merkezine olan dik uzaklığıdır ve kasın o eklemden oluşturabileceği tork miktarını belirler. Parmaklarda, fleksör ve ekstansör tendonlar bu moment kolunu etkili kullanacak şekilde yerleşmiştir. Örneğin, fleksör tendonların kemik yüzeyine yakın kalmasını sağlayan pulley sistemi, moment kolunu dengeleyerek parmakların etkili şekilde fleksiyon yapmasını sağlar. Kas kuvveti, yalnızca kasın fizyolojik kesit alanına değil, aynı zamanda tendonun yönelimine, sürtünme kuvvetlerine ve eklem pozisyonuna bağlı olarak değişir. Elin her bir parmağı, farklı açılarda ve farklı kas kombinasyonlarıyla çalışarak oldukça hassas ve farklı

kuvvet düzeylerinde fonksiyonlar gerçekleştirebilir (Francis-Pester & ark., 2021; Franko & ark., 2011).

Başparmak Biyomekaniği: Oppozisyon, Rotasyon ve Stabilizasyon

El fonksiyonlarında başparmak, özellikle kavrama ve manipülasyon becerilerinin merkezinde yer alır. Anatomik olarak diğer parmaklara dik yerleşmiş olması sayesinde başparmak; oppozisyon, fleksiyon, abduksiyon, adduksiyon ve rotasyon gibi çok yönlü hareketleri gerçekleştirebilir. Başparmakta özellikle ilk karpometakarpal (KMK) eklem, üç düzlemde hareket kabiliyetine sahip eğer tipi bir eklemdir. Oppozisyon hareketi, başparmağın diğer parmaklarla temas etmesini sağlayan karmaşık bir harekettir ve bu sırada hem rotasyonel hem de translasyonel bileşenler devreye girer. Stabilizasyon açısından ise tenar kas grubu (özellikle m. opponens pollicis, m. abductor pollicis brevis ve m. fleksör pollicis brevis) bu fonksiyonu üstlenir. Ayrıca başparmağın destek görevi görmesi, kavrama sırasında uygulanan karşı kuvvetin dengelenmesinde ve kavranan objenin stabil tutulmasında kritik rol oynar (Gustus & ark., 2012; West & Hogan, 2025).

El Bileği Stabilitesi ve Yük Aktarımı

Elin fonksiyonel başarısı, yalnızca parmaklara değil, bileğin stabilitesine ve yük taşıma kapasitesine de bağlıdır. El bileği, radius ve ulna ile karpal kemikler arasında yer alan kompleks bir yapıdır ve hem mobilite hem de stabilite gereksinimlerini karşılar. Günlük aktivitelerde el bileği, nesnelere ulaşmak, taşımak, kuvvet uygulamak gibi işlevler sırasında dinamik olarak stabilize edilmelidir. Bu stabilite, pasif (ligamentöz yapılar) ve aktif (kas-tendon üniteleri) elemanlar tarafından sağlanır. El bileği pozisyonu, parmak fleksörlerinin moment kolunu etkilediği için dolaylı olarak kavrama kuvvetine de etki eder. Genellikle hafif ekstansiyon pozisyonu, optimal kavrama için en avantajlı pozisyonudur. Yük

aktarımı ise önkoldan başlayarak, karpal kemikler üzerinden metakarpallere ve oradan da parmak uçlarına kadar dengeli bir şekilde yayılır (Jarque-Bou & ark., 2020; West & Hogan, 2025). Bu yük aktarımının bozulması, özellikle karpal instabiliteler, Triangular fibrokartilaj kompleks (TFKK) hasarları veya ligament yaralanmaları gibi patolojilerde karşımıza çıkar.

El Fonksiyonlarının Klinik Değerlendirmesi

El fonksiyonunun doğru bir şekilde değerlendirilmesi, çeşitli popülasyonlarda ve patolojilerde bozuklukların teşhisi, rehabilitasyon stratejilerinin planlanması ve sonuçların takibi açısından çok önemlidir. Elin karmaşık biyomekaniği ve çok yönlü işlevleri dikkate alındığında, klinik değerlendirmede hem objektif performansa dayalı ölçümleri hem de yaşa ve duruma özgü etkenler yer almalıdır (K.-S. Lee & Jung, 2015).

Klinik Değerlendirmede Yaygın Olarak Kullanılan Araçlar

El fonksiyonunun değerlendirilmesi tipik olarak eklem hareketliliği ve kas kuvvetine ilişkin temel veriler sağlayan eklem hareket açıklığı (EHA), kavrama ve pinç kavrama kuvveti gibi temel ölçümlerle başlar. Kavrama ve pinç kavrama kuvveti, hem sağlıklı bireylerde hem de klinik popülasyonlarda genellikle yüksek güvenilirlik ve geçerlilik gösteren el dinamometreleri ve pinçmetre kullanılarak ölçülmektedir (V & ark., 1985; Vaishya & ark., 2024). Kavrama kuvveti, günümüzde yalnızca ele özgü bir ölçüt olarak değil, aynı zamanda genel sağlık durumu ve yaşam süresinin bir biyobelirteci olarak da kabul edilmektedir. Çok sayıda büyük ölçekli çalışma, yaş ve cinsiyetten bağımsız olarak tüm nedenlere bağlı ölüm oranı ile kavrama kuvveti arasında güçlü bir ters ilişki olduğunu ortaya koymuştur (Chai & ark., 2024).

- Kuvvet ve hareket açıklığının ötesinde; el becerisi, koordinasyon ve ince motor kontrolün değerlendirilmesinde

standartlaştırılmış el fonksiyon testleri kullanılmaktadır. Bu amaçla yaygın olarak kullanılan değerlendirme araçları şunlardır:

- ***Jebsen-Taylor El Fonksiyon Testi (JEFT)***: Günlük aktivitelerin simülasyonu sırasında el fonksiyonunu değerlendirir. Son zamanlarda multipl skleroz ve inme gibi durumlarda yapılan psikometrik değerlendirmeler, yüksek güvenilirliğini ve yapısal geçerliliğini desteklese de cerrahi sonrası değişimdeki duyarlılığı daha sınırlıdır (Bovend'Eerd & ark., 2004; *Jebsen-Taylor Hand Function Test* | *RehabMeasures Database*, 2023).
- ***Kutu ve Blok Testi (BBT)***: Bireyin kaba el becerisini değerlendirmek amacıyla, bir dakika içinde belirli bir kutu içerisindeki blokları karşı kutuya aktarma sayısı ölçülür. Sağlam normatif verilere sahiptir ve çeşitli nöromotor bozuklukların değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılır. (V& ark., 1985).
- ***Dokuz Delikli Peg Testi (9HPT)***: İnce motor beceri ve el-göz koordinasyonunu değerlendiren bir testtir. Katılımcının, küçük çivileri belirli bir sırayla deliklere yerleştirip çıkarması istenir. Multipl skleroz, inme ve Parkinson hastalığı gibi nörolojik bozuklukların klinik değerlendirmesinde yaygın olarak kullanılır. (Feys & ark., 2017).
- ***Purdue Pegboard Testi***: Periferik sinir hasarı ve motor bozuklukların değerlendirilmesinde sıklıkla kullanılan bu test, bimanuel koordinasyonu ve parmak becerilerini değerlendirir (Lawson, 2019).

Bu standartlaştırılmış araçlar zaman açısından verimli, klinik olarak uygulanabilir ve fonksiyonel değişikliklere duyarlı olduğundan hem klinik uygulamalarda hem de bilimsel araştırmalarda tercih edilmektedir.

Yaşa Özgü Değerlendirmeler

El fonksiyonu değerlendirmesi, yaşam süresi boyunca uygulanmalıdır. Pediatrik popülasyonlarda, araçlar nöromotor gelişimi ve el becerisini dikkate almaktadır. Yardımcı El Değerlendirmesi ve JEFT'nin yaşa göre ayarlanmış normları gibi araçlar, serebral palsi gibi durumlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Krumlinde-Sundholm & ark., 2007; Tofani & ark., 2020).

Yaşlı yetişkinlerde kavrama kuvveti doğal olarak azalır, ancak bağımsızlık, sağlık sonuçları ve mortalitenin kritik bir belirleyicisi olmaya devam eder. Günümüzde birçok kılavuz, yaşlanan hastaların klinik takibinde el kavrama kuvvetini “yeni yaşamsal belirti” olarak kabul etmektedir (Chai & ark., 2024; Vaishya & ark., 2024).

Konjenital ve Edinsel El Problemlerinde Değerlendirme

Doğuştan gelen üst ekstremité anomalileri arasında yer alan, el bileği ve önkolun başparmak yönünde gelişim bozukluğu ile karakterize radyal longitudinal eksiklik ya da parmaklar arasındaki ayrılmanın tamamlanmaması sonucu oluşan sindaktili gibi durumlarda, müdahale öncesi ve sonrası üst ekstremité fonksiyonunu nicel olarak değerlendirmek amacıyla işlev temelli değerlendirme ölçekleri (örneğin, Shriners Hospital Upper Extremity Evaluation – SHUEE) kullanılmaktadır (Davids & ark., 2006).

Edinsel el yaralanmalarında (örn. tendon yırtıkları, kırıklar), değerlendirme süreci **yaralanmanın evresine uygun** olarak planlanmalıdır. **Erken dönemde** ağrı, ödem ve pasif eklem hareket açıklığı (EHA) ölçümü ön plandayken, **ilerleyen aşamalarda** kas kuvveti, erişim kapasitesi ve el becerisi gibi fonksiyonel ölçümler önem kazanır (Hand and Upper Extremity

Rehabilitation, 2005). Buna ek olarak, **Kol, Omuz ve El Sorunları Anketi** ile **Michigan El Sonuç Anketi** gibi **spesifik hasta odaklı sonuç ölçütleri**, hastanın fonksiyonel durumunu **kendi algısı üzerinden** değerlendirmeye olanak tanıyan **tamamlayıcı klinik araçlardır** (Chung & ark., 1998; Ergen & ark., 2024).

Klinik İlişkilendirme

Yapı-Fonksiyon İlişkisi

Elin karmaşık işlevselliğinin temelini, anatomik ve biyomekanik mimarisi oluşturur. Her eklem, tendon, bağ ve kas, elin hassas ve güçlü hareketler yapmasında koordineli bir biçimde rol alır (Duncan & ark., 2013). Örneğin, başparmağın kendine özgü eyer şeklindeki KMK eklemi, kavrama ve nesne manipülasyonu için çok önemli hareketler olan oppozisyon ve sirkümdüksiyonu mümkün kılar (Nichols & ark., 2022). Benzer şekilde, fleksör pulley sistemi tendonun falankslara yakınlığını koruyarak fleksiyon sırasında mekanik verimliliği en üst düzeye çıkarır (Zafonte & ark., 2014).

Anatomik bütünlükte, mikroyapısal düzeyde dahi olsa meydana gelen bozulmalar, elin işlevini ciddi şekilde etkileyebilir. Yapı ile fonksiyon arasındaki bu sıkı ilişki, hem el tedavisinde hem de rekonstrüktif cerrahide klinik karar alma ve cerrahi planlamada hassas bir anatomik bilginin neden vazgeçilmez olduğunu gösterir (Schreuders & ark., 2014).

Yaralanmanın Fonksiyonel Sonuçları

Tendon yırtıkları, sinir lezyonları veya kırıklar dahil olmak üzere el yaralanmaları, yapıların sıkı anatomik entegrasyonu nedeniyle genellikle önemli ölçüde işlev kaybına neden olur. Örneğin, fleksör tendon yaralanmaları parmak fleksiyonu kaybına neden olabilir ve adezyonları önlemek ve kayma işlevini yeniden sağlamak için titiz bir cerrahi girişim ve ardından dikkatle

yapılandırılmış bir rehabilitasyon protokolü gerektirir (Kang & ark., 2024).

Benzer şekilde, sinir yaralanmaları -özellikle median ve ulnar sinirlerde- hem motor hem de duyuşsal alanlarda ciddi bozukluklara yol açabilir. Median sinir hasarı başparmak hareketini ve ince motor kontrolünü bozarken, ulnar sinir hasarı intrinsik kasları etkiler ve pençe el deformitesine yol açar (Warwick & ark., 2010). Distal radius veya metakarpaları içeren kırıklar sadece hizalamayı ve eklem uyumunu değiştirmekle kalmaz, aynı zamanda yük iletimini ve koordinasyonu da etkiler (Ikpeze & ark., 2016).

Bu yaralanmalar, el fonksiyonunu yalnızca izole bir problem olarak değil; iskelet, kas ve sinir sistemleri arasındaki dinamik etkileşimin bir sonucu olarak değerlendirme gerekliliğini vurgulamaktadır (Valero-Cuevas, 2005).

Rehabilitasyon Planlamasında Biyomekanik Parametrelerin Rolü

Eklem açıları, tork üretimi, moment kolları ve tendon hareketleri gibi biyomekanik parametreler, etkili ve bireyselleştirilmiş rehabilitasyon stratejilerinin tasarlanmasında çok önemli bir rol oynamaktadır. Bu parametrelerin anlaşılması klinisyenlerin şunları yapmasını sağlar:

- İyileşen yapılar üzerindeki stresi en aza indiren atelleme pozisyonlarını seçmek
- Tendon kaymasını ve eklem hizalamasını optimize eden egzersiz müdahalelerini şekillendirmek
- Tendon yapışıklıkları, deformiteler veya inaktiviteye bağlı atrofi gibi komplikasyonları önlemek

Örneğin, kavrama egzersizleri sırasında el bileğinin hafif ekstansiyonda optimum şekilde konumlandırılması fleksör

tendonların mekanik avantajını ve kavrama kuvvetini artırır (J.-A. Lee & Sechachalam, 2016).

Kinetik ve kinematik çalışmalar yoluyla yük dağılımı analizi, ameliyat sonrası protokoller ve ergonomik müdahaleler için kanıta dayalı temeller sağlamıştır. Bu nedenle, biyomekanik ilkelerin entegre edilmesi yalnızca işlevin geri kazanılması için değil, aynı zamanda yeniden yaralanmanın önlenmesi ve uzun vadeli sonuçların desteklenmesi için de esastır.

Sonuç

İnsan eli, hem güçlü hem de hassas hareketleri mümkün kılmak için ince anatomik yapısı ile karmaşık biyomekanik işlevleri bir araya getiren son derece kompleks bir yapıdır. İskelet yapısının, eklem mimarisinin, bağ desteğinin ve kas koordinasyonunun kapsamlı bir şekilde anlaşılması, el fonksiyonunun değerlendirilmesi ve yeniden kazandırılması için esastır. Tendon hareketleri, moment kolları ve eklem stabilizasyonu da dahil olmak üzere el hareketlerini yöneten biyomekanik prensipler, özellikle el yaralanmaları ve bozukluklarının tanı, tedavi ve rehabilitasyonunda klinik uygulamaların merkezinde yer alır. Ayrıntılı anatomik bilgi ve hassas klinik değerlendirme araçları sayesinde, klinisyenler fonksiyonel sonuçları geliştiren müdahaleleri daha iyi uyarlayabilirler. Gelişen teknolojiler ve araştırmalar, elin yapısal ve fonksiyonel biyomekaniği konusundaki anlayışımızı derinleştirmeye devam ettikçe, anatomiye uygulamalı biyomekani ile bütünleştirmek, el ile ilgili hem terapötik hem de cerrahi gelişmelerde çok önemli olmaya devam edecektir.

Kaynakça

Agrawal, A. (2019). Musculoskeletal etymology: What's in a name? *Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma*, 10(2), 387-394. <https://doi.org/10.1016/j.jcot.2018.02.009>

Bovend'Eerd, T. J., Dawes, H., Johansen-Berg, H., & Wade, D. T. (2004). Evaluation of the Modified Jebsen Test of Hand Function and the University of Maryland Arm Questionnaire for Stroke. *Clinical Rehabilitation*, 18(2), 195-202. <https://doi.org/10.1191/0269215504cr722oa>

Campbell, E., Pillai, S., Vamadeva, S., & Pahal, G. (2020). Hand tendon injuries. *British Journal of Hospital Medicine*, 81(11), 1-14. <https://doi.org/10.12968/hmed.2020.0141>

Chai, L., Zhang, D., & Fan, J. (2024). Comparison of grip strength measurements for predicting all-cause mortality among adults aged 20+ years from the NHANES 2011-2014. *Scientific Reports*, 14(1), 29245. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-80487-y>

Chung, K. C., Pillsbury, M. S., Walters, M. R., & Hayward, R. A. (1998). Reliability and validity testing of the Michigan Hand Outcomes Questionnaire. *The Journal of Hand Surgery*, 23(4), 575-587. [https://doi.org/10.1016/S0363-5023\(98\)80042-7](https://doi.org/10.1016/S0363-5023(98)80042-7)

Colzani, G., Tos, P., Battiston, B., Merolla, G., Porcellini, G., & Artiaco, S. (2016). Traumatic Extensor Tendon Injuries to the Hand: Clinical Anatomy, Biomechanics, and Surgical Procedure Review. *Journal of Hand and Microsurgery*, 8(1), 2-12. <https://doi.org/10.1055/s-0036-1572534>

Daivids, J. R., Peace, L. C., Wagner, L. V., Gidewall, M. A., Blackhurst, D. W., & Roberson, W. M. (2006). Validation of the Shriners Hospital for Children Upper Extremity Evaluation (SHUEE) for children with hemiplegic cerebral palsy. *The Journal*

of Bone and Joint Surgery. American Volume, 88(2), 326-333.
<https://doi.org/10.2106/JBJS.E.00298>

Dawson-Amoah, K., & Varacallo, M. A. (2025). Anatomy, Shoulder and Upper Limb, Hand Intrinsic Muscles. İçinde StatPearls. StatPearls Publishing.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK539810/>

DiTano, O., Trumble, T. E., & Tencer, A. F. (2003). Biomechanical function of the distal radioulnar and ulnocarpal wrist ligaments. The Journal of Hand Surgery, 28(4), 622-627.
[https://doi.org/10.1016/s0363-5023\(03\)00183-7](https://doi.org/10.1016/s0363-5023(03)00183-7)

Duncan, S. F. M., Saracevic, C. E., & Kakinoki, R. (2013). Biomechanics of the Hand. Hand Clinics, 29(4), 483-492.
<https://doi.org/10.1016/j.hcl.2013.08.003>

Ergen, H. İ., Yiğit, S., Maden, T., & Keskinbıçkılı, M. V. (2024). The Turkish version of the brief Michigan hand outcomes questionnaire: Cross-cultural adaptation, validity, and reliability testing. Acta Orthopaedica Et Traumatologica Turcica, 58(5), 286-289. <https://doi.org/10.5152/j.aott.2024.23104>

Feys, P., Lamers, I., Francis, G., Benedict, R., Phillips, G., LaRocca, N., Hudson, L. D., Rudick, R., & Multiple Sclerosis Outcome Assessments Consortium. (2017). The Nine-Hole Peg Test as a manual dexterity performance measure for multiple sclerosis. Multiple Sclerosis (Houndmills, Basingstoke, England), 23(5), 711-720. <https://doi.org/10.1177/1352458517690824>

Francis-Pester, F. W., Thomas, R., Sforzin, D., & Ackland, D. C. (2021). The moment arms and leverage of the human finger muscles. Journal of Biomechanics, 116, 110180. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2020.110180>

Franko, O. I., Winters, T. M., Tirrell, T. F., Hentzen, E. R., & Lieber, R. L. (2011). Moment arms of the human digital flexors.

Journal of Biomechanics, 44(10), 1987-1990.
<https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2011.04.025>

Giele, H., & Sammut, D. (2006). The Functional Anatomy And Assessment Of The Extensor Mechanism. The British Journal of Hand Therapy, 11(4), 104-110.
<https://doi.org/10.1177/175899830601100401>

Gonzalez, M. A., & Netscher, D. T. (2016). Hand Intrinsic Muscles. İçinde Bergman's Comprehensive Encyclopedia of Human Anatomic Variation (ss. 315-334). John Wiley & Sons, Ltd.
<https://doi.org/10.1002/9781118430309.ch34>

Gustus, A., Stillfried, G., Visser, J., Jörntell, H., & van der Smagt, P. (2012). Human hand modelling: Kinematics, dynamics, applications. Biological Cybernetics, 106(11), 741-755.
<https://doi.org/10.1007/s00422-012-0532-4>

Ikpeze, T. C., Smith, H. C., Lee, D. J., & Elfar, J. C. (2016). Distal Radius Fracture Outcomes and Rehabilitation. Geriatric Orthopaedic Surgery & Rehabilitation, 7(4), 202-205.
<https://doi.org/10.1177/2151458516669202>

Jarque-Bou, N. J., Atzori, M., & Müller, H. (2020). A large calibrated database of hand movements and grasps kinematics. Scientific Data, 7(1), 12. <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0349-2>

Jebsen-Taylor Hand Function Test | RehabMeasures Database. (2023, Temmuz 26). <https://www.sralab.org/rehabilitation-measures/jebsen-taylor-hand-function-test>

Johnston, J. A., Bobich, L. R., & Santello, M. (2010). Coordination of intrinsic and extrinsic hand muscle activity as a function of wrist joint angle during two-digit grasping. Neuroscience

Letters, 474(2), 104-108.
<https://doi.org/10.1016/j.neulet.2010.03.017>

Kang, A., McKnight, R. R., & Fox, P. M. (2024). Flexor Tendon Injuries. *Journal of Hand Surgery*, 49(9), 914-922.
<https://doi.org/10.1016/j.jhsa.2024.05.013>

Krumlinde-Sundholm, L., Holmefur, M., Kottorp, A., & Eliasson, A.-C. (2007). The Assisting Hand Assessment: Current evidence of validity, reliability, and responsiveness to change. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 49(4), 259-264.
<https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2007.00259.x>

Lawson, I. (2019). Purdue Pegboard Test. *Occupational Medicine*, 69(5), 376-377. <https://doi.org/10.1093/occmed/kqz044>

Lee, J.-A., & Sechachalam, S. (2016). The Effect of Wrist Position on Grip Endurance and Grip Strength. *The Journal of Hand Surgery*, 41(10), e367-e373.
<https://doi.org/10.1016/j.jhsa.2016.07.100>

Lee, K.-S., & Jung, M.-C. (2015). Ergonomic Evaluation of Biomechanical Hand Function. *Safety and Health at Work*, 6(1), 9-17. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2014.09.002>

Maw, J., Wong, K. Y., & Gillespie, P. (2016). Hand anatomy. *British Journal of Hospital Medicine*, 77(3), C34-C40.
<https://doi.org/10.12968/hmed.2016.77.3.C34>

Nichols, D. S., Oberhofer, H. M., & Chim, H. (2022). Anatomy and Biomechanics of the Thumb Carpometacarpal Joint. *Hand Clinics*, 38(2), 129-139.
<https://doi.org/10.1016/j.hcl.2021.11.001>

Omokawa, S., Iida, A., Kawamura, K., Nakanishi, Y., Shimizu, T., Kira, T., Onishi, T., Hayami, N., & Tanaka, Y. (2017). A Biomechanical Perspective on Distal Radioulnar Joint Instability.

Journal of Wrist Surgery, 6(2), 88-96. <https://doi.org/10.1055/s-0037-1601367>

Rozmaryn, L. M. (2017). The Collateral Ligament of the Digits of the Hand: Anatomy, Physiology, Biomechanics, Injury, and Treatment. *The Journal of Hand Surgery*, 42(11), 904-915. <https://doi.org/10.1016/j.jhssa.2017.08.024>

Schreuders, T. A. R., Brandsma, J. W., & Stam, H. J. (2014). Functional Anatomy and Biomechanics of the Hand. İçinde M. T. Duruöz (Ed.), *Hand Function: A Practical Guide to Assessment* (ss. 3-22). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-9449-2_1

Schubert, C. D., & Giunta, R. E. (2014). Extensor Tendon Repair and Reconstruction. *Clinics in Plastic Surgery*, 41(3), 525-531. <https://doi.org/10.1016/j.cps.2014.03.012>

Slagter—Drawing Bones hand dorsal side—No labels | AnatomyTOOL. (t.y.). Geliş tarihi 02 Temmuz 2025, gönderen <https://anatomytool.org/content/slagter-drawing-bones-hand-dorsal-side-no-labels>

Themes, U. F. O. (2016, Aralık 5). Structure and Function of the Wrist. *Musculoskeletal Key*. <https://musculoskeletalkey.com/structure-and-function-of-the-wrist/>

Tofani, M., Castelli, E., Sabbadini, M., Berardi, A., Murgia, M., Servadio, A., & Galeoto, G. (2020). Examining Reliability and Validity of the Jebsen-Taylor Hand Function Test Among Children With Cerebral Palsy. *Perceptual and Motor Skills*, 127(4), 684-697. <https://doi.org/10.1177/0031512520920087>

V, M., G, V., N, K., & K, W. (1985). Adult norms for the Box and Block Test of manual dexterity. *The American Journal of Occupational Therapy: Official Publication of the American Occupational Therapy Association*, 39(6). <https://doi.org/10.5014/ajot.39.6.386>

Vaishya, R., Misra, A., Vaish, A., Ursino, N., & D'Ambrosi, R. (2024). Hand grip strength as a proposed new vital sign of health: A narrative review of evidences. *Journal of Health, Population and Nutrition*, 43(1), 7. <https://doi.org/10.1186/s41043-024-00500-y>

Valero-Cuevas, F. J. (2005). An integrative approach to the biomechanical function and neuromuscular control of the fingers. *Journal of Biomechanics*, 38(4), 673-684. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2004.04.006>

Wadsworth, C. (1983). Clinical anatomy and mechanics of the wrist and hand. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 4(4), 206-216. <https://doi.org/10.2519/jospt.1983.4.4.206>

Warwick, D., Srinivasan, H., & Solomon, L. (2010). Peripheral nerve injuries. *İçinde Apley's System of Orthopaedics and Fractures (9. bs)*. CRC Press.

West, A. M., & Hogan, N. (2025). Kinematic hand synergies differ between reach-and-grasp and functional object manipulation. *Journal of Neurophysiology*, 133(2), 547-560. <https://doi.org/10.1152/jn.00101.2024>

Zafonte, B., Rendulic, D., & Szabo, R. M. (2014). Flexor Pulley System: Anatomy, Injury, and Management. *The Journal of Hand Surgery*, 39(12), 2525-2532. <https://doi.org/10.1016/j.jhsa.2014.06.005>

EL VE EL BİLEĞİ PATOLOJİLERİNDE REHABİLİTASYON YAKLAŞIMLARI

GÜLSER CİNBAZ³

Giriş

El ve el bileği, insan vücudunun karmaşık ve özelleşmiş bölgelerinden biri olup, çevreyle etkileşimde temel araçlardandır. İnce motor becerilerin, kavrama kuvvetinin ve duyuşsal geri bildirimin sağlanmasında merkezi bir rol oynar. Elin bu çok yönlü işlevselliği, günlük yaşam aktivitelerinin yanı sıra sosyal, mesleki ve rekreasyonel faaliyetlerde de bireyin bağımsızlığını doğrudan etkiler (Leclercq & ark., 2022).

El ve el bileğiyle ilişkili hastalıklar, yaralanmalar veya dejeneratif süreçler, yalnızca fonksiyonel kayıplara değil, aynı zamanda bireyin yaşam kalitesinde belirgin bir azalmaya da yol açabilir. Karpal tünel sendromu, tenosinovitler, artritler, sinir ve tendon yaralanmaları gibi durumlar hem yaygın görülmekte hem de bireylerin günlük yaşamlarını önemli ölçüde sınırlamaktadır. Bu tür bozukluklarda yalnızca semptom yönetimi değil, aynı zamanda

³ Arş. Gör. Dr., İstanbul Medeniyet Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü, Orcid: 0000-0002-3011-8822

fonksiyonel iyileşmeyi ve yaşam kalitesini artırmayı hedefleyen kapsamlı bir rehabilitasyon süreci gereklidir (Atkins & ark., 2021).

Rehabilitasyon süreci, yalnızca pasif uygulamaları değil; bireye özgü egzersiz programlarını, atelleme uygulamalarını, manuel terapiyi ve gerektiğinde teknolojik destekli uygulamaları da içermektedir. Fonksiyonel hedeflere dayalı, bireyselleştirilmiş yaklaşımlar, elin işlevselliğinin yeniden kazandırılması sürecinde kritik öneme sahiptir. Rehabilitasyon süreci ayrıca, hastanın günlük yaşam aktivitelerine dönüşünü kolaylaştırmak, işlevsel bağımsızlığını artırmak ve tekrarlayan yaralanmaların önüne geçmek amacıyla koruyucu stratejileri de kapsamalıdır (MacDermid & Tang, 2020).

Bu bölümde, el ve el bileğiyle ilişkili çeşitli klinik durumlara özgü rehabilitasyon yaklaşımları sistematik şekilde ele alınacaktır. Bu sayede okuyucunun, el rehabilitasyonuna bütüncül bir bakış açısı geliştirmesi hedeflenmektedir.

El ve El Bileği Rehabilitasyonuna Genel Bakış

El ve el bileği rehabilitasyonu, yalnızca hareket açıklığının artırılması veya ağrının azaltılması gibi klasik hedeflerin ötesinde; fonksiyonun yeniden kazanılması, günlük yaşam aktivitelerinin sürdürülebilmesi ve yaşam kalitesinin artırılması gibi çok boyutlu hedefleri içeren kapsamlı bir süreçtir. Rehabilitasyon, hastanın mevcut durumuna, eşlik eden medikal faktörlere ve kişisel hedeflerine göre bireyselleştirilmelidir (Michlovitz & LaStayo, 2021).

Bu süreçte ilk adım, multidisipliner yaklaşımın benimsenmesidir. Elin karmaşık anatomisi ve fonksiyonel rolü göz önüne alındığında, fizyoterapistlerin yanı sıra ergoterapistler, el cerrahları ve protez-ortez teknikerlerinin birlikte çalıştığı bir ekip çalışması optimal sonuçlar sağlar. Ekip içi koordinasyon, tedavi

planının sürekliliğini ve etkili hasta takibini mümkün kılar (O'Brien & ark., 2023).

Rehabilitasyon süreci; değerlendirme, müdahalenin planlanması ve takip olmak üzere üç temel aşamada değerlendirilir. Değerlendirme süreci hem objektif testleri hem de hastanın subjektif deneyimlerini kapsayacak şekilde yapılandırılmalıdır. Ağrı, ödem, kavrama kuvveti, eklem hareket açıklığı ve duyu değerlendirmeleri, fonksiyonel testler ve öz bildirim ölçekleri ile desteklenerek bütüncül bir bakış açısı sağlanır (MacDermid & ark., 2020). Müdahalenin planlanmasında, eldeki bozukluğun türü ve ciddiyetine göre; atelleme, mobilizasyon, duyu yeniden eğitimi, kuvvetlendirme egzersizleri ve günlük yaşam aktivitelerine yönelik fonksiyonel egzersizler gibi çeşitli teknikler bir araya getirilir. Uygulama sırasında hastanın motivasyonu ve katılımı da tedavi başarısını doğrudan etkiler (Prosser & McMahon, 2022). Son aşama olan takip süreci ise tedaviye yanıtın objektif olarak değerlendirildiği ve gerektiğinde tedavi planının yeniden şekillendirildiği aşamadır. İyileşme sürecinin sürekli olarak gözlemlenmesi, tekrarlayan disfonksiyonların önlenmesinde ve uzun vadeli fonksiyonun korunmasında önemlidir. El ve el bileği rehabilitasyonunun başarısı, yalnızca doğru tekniklerin seçilmesiyle değil, aynı zamanda hasta-merkezli bir yaklaşımla, sistemli bir takip ve multidisipliner iş birliği ile mümkündür (MacDermid & ark., 2020).

Yaygın Klinik Durumlara Göre Rehabilitasyon Uygulamaları

• Karpal Tünel Sendromu

Tanım ve Patofizyoloji

Karpal tünel sendromu (KTS), median sinirin el bileği seviyesinde karpal tünel adı verilen anatomik bir kanalda sıkışması sonucu ortaya çıkan periferik bir tuzak nöropatisidir. Karpal tünel; transvers karpal ligament ile karpal kemikler arasında yer alan dar bir geçittir ve bu tünel içerisinde median sinir ile dokuz fleksör

tendon geçer. Bu anatomik yapının herhangi bir nedenle daralması veya içerisindeki basıncın artması, median sinirin fonksiyonunu bozar ve nörolojik belirtilere yol açar (Ghasemi & ark., 2020).

Şekil 1. Karpal tünel sendromunun oluşum yeri



Kaynak: (Ulvi & ark., 2004)

KTS'nin en yaygın nedenleri arasında tekrarlayıcı el hareketleri, el bileğinin zorlayıcı pozisyonlarda uzun süre tutulması, travmalar, romatoid artrit, diyabet, hipotiroidi ve gebelik yer almaktadır (Padua & ark., 2016). Patofizyolojik olarak, median sinirin epinöral kan akımında azalma, aksoplazmik akımın bozulması ve sinir çevresinde inflamatuvar yanıt gelişimi öne çıkmaktadır. Uzun süreli bası sonucunda sinir yapısında dejenerasyon görülebilir. Hastalar sıklıkla başparmak, işaret parmağı, orta parmak ve yüzük parmağının radial yarısında uyuşma, karıncalanma ve yanma hissinden yakınır. Geceleri artan pareteziler, sabahları elde tutukluk hissi ve kavrama kuvvetinde azalma yaygın şikayetler arasındadır. İlerlemiş vakalarda tenar kas atrofisi gelişebilir (Padua & ark., 2016).

Rehabilitasyon Yaklaşımları

KTS tedavisinde konservatif ve cerrahi yöntemler olmak üzere iki ana yaklaşım vardır. Hafif ve orta düzeydeki olgularda konservatif rehabilitasyon ön plandadır ve çoğunlukla başarılı sonuçlar verir (Piazza & ark., 2021).

Atelleme:

Nötral pozisyonda gece ateli kullanımı, karpal tünel içi basıncı azaltarak median sinirin irritasyonunu önler. Uyurken el bileğini fleksiyon veya ekstansiyon pozisyonundan korumak önemlidir. Hafif-orta düzey semptomları olan hastalarda semptomları anlamlı derecede azaltır (O'Connor & ark., 2022).

Manuel Terapi Teknikleri:

Nöral mobilizasyon egzersizleri, sinir kayma hareketleri (*nerve gliding*) ve el bileği mobilizasyonları, sinirin çevre dokularla olan ilişkisinin düzenlenmesine katkı sağlar. Randomize kontrollü çalışmalar, bu tekniklerin ağrı ve fonksiyon üzerinde olumlu etkiler yarattığını göstermektedir (Fernández-de-Las-Peñas & ark., 2015).

Terapi Egzersizleri:

İzometrik ve izotonik egzersizler, el kaslarının kuvvetlendirilmesini sağlar. Özellikle tenar kas grubu hedeflenmelidir. El bileği çevresindeki kaslar için germe ve kuvvetlendirme egzersizleri, bilek stabilitesine katkı sağlar. Egzersizler hastanın semptom düzeyine göre ayarlanmalı ve fonksiyonel hedeflere uygun olarak planlanmalıdır (Piazza & ark., 2021).

Modaliteler:

Ultrason, TENS, düşük seviyeli lazer tedavisi gibi fiziksel ajanlar konservatif tedaviye destek amacıyla kullanılabilir. Literatür, terapötik ultrasonun karpal tünel içi ödemi azaltmada etkili olabileceğini göstermektedir (Akalin & ark., 2020).

Ergonomik Eğitim:

Hastaya, günlük yaşam aktivitelerinde elini ve el bileğini nasıl koruması gerektiği öğretilmelidir. Bilgisayar kullanımı, ev işleri ve iş yeri ortamı ergonomik olarak değerlendirilerek uygun

düzenlemeler yapılmalıdır. Aşırı tekrarlayıcı el hareketlerinden ve el bileğini zorlayıcı pozisyonlardan kaçınılmalıdır (Piazza & ark., 2021).

Hasta Eğitimi ve Takip:

Rehabilitasyon sürecinde hastaya KTS'nin nedenleri, semptom kontrolü ve tekrarı önleme stratejileri hakkında bilgi verilmelidir. Ayrıca semptomlar devam ediyorsa ya da klinik tablo ilerliyorsa hasta nöroloji veya ortopedi uzmanına yönlendirilmelidir (Piazza & ark., 2021).

Cerrahi Sonrası Rehabilitasyon:

Açık veya endoskopik karpal tünel gevşetme cerrahisi sonrası rehabilitasyon, yara dokusu yönetimi, ödem kontrolü, eklem hareket açıklığı egzersizleri ve progresif kas kuvvetlendirme uygulamalarını içerir. Cerrahi sonrası 1–2 hafta içinde eklem hareket açıklığı egzersizlerine, 3. haftadan itibaren ise aşamalı olarak kas kuvvetlendirme egzersizlerine başlanmalıdır (Kluge & ark., 2022).

• De Quervain Tenosinoviti

Tanım ve Patofizyoloji

De Quervain tenosinoviti, başparmak ekstansör kasları olan abductor pollicis longus (APL) ve extensor pollicis brevis (EPB) tendonlarının, el bileğinin radyal tarafında bulunan 1. ekstansör kompartmanda inflamasyon ve kalınlaşmaya uğraması sonucu oluşan bir tenosinovit tablosudur. Bu durum, tendonların sinoviyal kılıflarıyla olan sürtünme ilişkisini bozar ve ağrıya neden olur (Avci & ark., 2022).

Şekil 2. De Quervain tenosinovitli bir olguda, distal radius seviyesinde gözlenen lokalize yumuşak doku şişliği



Kaynak: (Corvino & ark., 2023)

Patofizyoloji, özellikle tendon kılıfında gelişen kalınlaşma ve fibröz doku proliferasyonuna dayanır. Bu da tendonların hareket sırasında sıkışmasına, ağrı ve fonksiyonel kısıtlılık gelişimine yol açar. De Quervain, özellikle başparmakla birlikte kavrama ve rotasyon hareketlerinin yoğun olarak kullanıldığı aktivitelerde (örneğin bebek taşımak, ağır torba kaldırmak, bilgisayar faresi kullanımı) gelişir. Bu nedenle hastalık, doğum sonrası dönemde annelerde yaygın olarak gözlenir. Klinik olarak hastalar el bileğinin radyal tarafında ağrı, hassasiyet ve başparmak hareketlerinde kısıtlılıktan yakınır. Finkelstein testi, hastalığın tanısında oldukça özgül ve duyarlı bir klinik testtir (Tomaino, 2020).

Rehabilitasyon Yaklaşımları

De Quervain tenosinovitinde tedavi yaklaşımı, semptomların süresi ve şiddetine göre değişkenlik gösterir. Erken evrelerde konservatif yöntemler çoğu hastada başarılı olurken, ileri veya konservatif tedaviye yanıt vermeyen olgularda cerrahi seçenekler gündeme gelir (Pagonis & ark., 2021).

Atelleme:

Başparmak spika ateli, başparmak ve el bileğini nötral pozisyonda sabitleyerek tendinöz yapılar üzerindeki mekanik yükü azaltır. Genellikle 2–6 hafta süreyle kullanılır. Hem istirahat sağlayarak inflamasyonu azaltır hem de tendon iyileşmesine katkıda bulunur (Coombes & ark., 2015).

Egzersiz Uygulamaları:

Tedavi sürecinin aktif aşamasında, özellikle APL ve EPB kaslarına yönelik germe egzersizleri, esnekliği artırarak semptomların azalmasına katkı sağlar. İyileşmenin ilerleyen dönemlerinde ise izometrik ve izotonik egzersizlerle kas kuvvetinin artırılması hedeflenmelidir. Egzersizlerin doğru teknikle, uygun doz ve sıklıkta uygulanması tedavinin etkinliği açısından çok önemlidir. (Martins & ark., 2023).

Manuel Terapi:

Yumuşak doku mobilizasyonu, friksiyon masajı ve radyal kompartmanda tendon mobilizasyonları gibi manuel teknikler, doku elastikiyetini artırarak ağrının azaltılmasına ve fonksiyonun yeniden kazanılmasına destek olabilir. Bununla birlikte, manuel terapi uygulamaları diğer yöntemlerle kombine edilmelidir (Pagonis & ark., 2021).

Fiziksel Modaliteler:

TENS, terapötik ultrason ve kriyoterapi, ödemin ve inflamasyonun azaltılmasına yönelik destek tedavi olarak kullanılabilir. Literatürde terapötik ultrasonun 1 MHz frekansla uygulandığında tendon çevresi inflamasyonu azalttığı bildirilmektedir (Lee & ark., 2018).

Fonksiyonel ve Ergonomik Danışmanlık:

Hastanın günlük yaşam aktivitelerinin yeniden düzenlenmesi, semptomların tekrarını önlemek açısından kritik önem taşır. Özellikle el bileğini zorlayıcı aktivitelerin modifiye edilmesi, tekrarlayıcı el hareketlerinden kaçınılması ve ergonomik ekipman kullanımı teşvik edilmelidir (Pagonis & ark., 2021).

Hasta Eğitimi ve Takip:

Hastalığa dair farkındalık, tedavi sürecine uyum açısından önemlidir. Hasta atel kullanımı, egzersizlerin uygulanması ve riskli hareketlerden kaçınma konularında bilgilendirilmelidir. Takip değerlendirmeleriyle tedaviye yanıt düzenli olarak izlenmelidir (Pagonis & ark., 2021).

Cerrahi Müdahale Sonrası Rehabilitasyon:

Karpal tünel gevşetme cerrahisi sonrası rehabilitasyon, doku iyileşmesini destekleyen ödem kontrolü, eklem hareket açıklığı çalışmaları ve başparmak fonksiyonunun yeniden kazandırılmasını hedefleyen egzersizlerle planlanmalıdır. Cerrahiden sonra genellikle 2. haftadan itibaren aktif egzersizlere başlanır ve 6. haftada fonksiyonel geri dönüş beklenir (Bodor & ark., 2019).

• El Bileği İnstabiliteleri

Tanım ve Patofizyoloji

El bileği instabiliteleri, el bileği çevresindeki bağ yapılarının, özellikle interkarpal ve radiokarpal bağların yaralanması sonucunda, karpal kemikler arasındaki normal biyomekanik uyumun bozulması ile karakterize edilen durumlardır. Bu instabilite, ağrı, eklem hareket açıklığında azalma, krepitasyon ve kavrama kuvvetinde zayıflık gibi semptomlarla klinik olarak kendini gösterebilir (Lichtman & ark., 2021).

İnstabilite; travmatik ya da dejeneratif nedenlere bağlı olabilir. En sık karşılaşılan travmatik neden, elin dorsifleksiyon ve

supinasyon pozisyonunda iken şiddetli bir travmaya maruz kalması sonucu oluşan skafolunat (SL) veya lunotriquetral (LT) bağ yaralanmalarıdır. Dejeneratif nedenler arasında yaşlanmaya bağlı bağ gevşekliği ve tekrarlayıcı mikro travmalar yer alır (Wolff & ark., 2019).

İnstabiliteler statik ya da dinamik olabilir. Statik instabilitelerde görüntüleme yöntemleriyle karpal kemiklerdeki dizilim bozukluğu saptanabilirken, dinamik instabiliteler yalnızca el bileği hareketi sırasında ortaya çıkar. Tanı sürecinde klinik muayene testleri (Watson testi, Ballottement testi) ve radyolojik değerlendirmeler (düz grafiler, stres grafileri, manyetik rezonans görüntüleme (MRG)) önemli rol oynar (Brady & ark., 2022).

Rehabilitasyon Yaklaşımları

El bileği instabilitelerinin yönetimi, instabilitenin tipi, şiddeti, eşlik eden yapısal hasarlar ve semptomların süresine göre belirlenir. Hafif ve dinamik instabilitelerde konservatif tedavi ilk seçenektir. Statik ve ilerleyici instabilitelerde ise cerrahi müdahale gerekebilir (Brady & ark., 2022).

İmmobilizasyon ve Destek:

Akut dönemde ağrı ve inflamasyonun kontrol altına alınabilmesi için kısa süreli immobilizasyon önerilir. El bileğini nötral pozisyonda sabitleyen el bileği atelleri bu süreçte etkilidir. Bu ateller, bağ iyileşmesini destekler ve instabilitenin ilerlemesini engeller (Rancy & Lee, 2020).

Propriyosepsiyon ve Stabilizasyon Egzersizleri:

İnterkarpal stabilitenin artırılması amacıyla el bileği çevresi kasları hedefleyen egzersiz programları uygulanır. Özellikle ekstensör karpi ulnaris (EKU), fleksör karpi radialis (FKR), ve fleksör karpi ulnaris (FKU) kaslarının aktive edilmesi el bileği stabilitesine katkı sağlar. İzometrik egzersizlerle başlanır ve

sonrasında dinamik ve fonksiyonel egzersizlere geçilir (Garcia-Elias & ark., 2020).

Fonksiyonel Rehabilitasyon:

Günlük yaşam aktivitelerinde instabiliteyi tetikleyen pozisyonlardan kaçınılmalı, ergonomik önerilerle birlikte fonksiyonel beceriler desteklenmelidir. Özellikle tekrarlayan bilek torsiyonu içeren işler sırasında doğru hareket kalıplarının kazandırılması önemlidir (Wei & ark., 2023).

Progresif Yükleme ve Endurans Eğitimi:

Kas enduransı, el bileğinin stabilitesini sürdürmede kritik rol oynar. Bu nedenle düşük dirençle başlayan kuvvetlendirme egzersizleri kasların adaptasyonuna göre artırılarak devam ettirilmelidir. Fonksiyonel zorluklara göre ağırlıklı egzersizler veya elastik direnç bantlarıyla yapılan uygulamalar faydalı olabilir (Wei & ark., 2023).

Modaliteler:

Terapötik ultrason, yüzeysel sıcak-soğuk uygulamaları ve TENS ağrının azaltılmasına ve kas gevşemesine yardımcı olabilir. Ancak bu ajanlar doğrudan instabiliteyi düzeltmez; sadece semptomatik rahatlama sağlar (Wei & ark., 2023).

Cerrahi Sonrası Rehabilitasyon:

Skafolunat rekonstrüksiyon, artroskopik bağ tamiri ya da karpal füzyon gibi girişimlerden sonra uygulanması gereken rehabilitasyon protokolü cerrahi tekniğe göre şekillenir. Ancak genellikle ilk 4–6 hafta immobilizasyon, ardından kontrollü eklem hareket açıklığı çalışmaları ve 8. haftadan itibaren progresif direnç egzersizleri uygulanır. Postoperatif ödem yönetimi, yara dokusu mobilizasyonu

ve propriyoseptif eğitimin zamanlaması tedavi başarısı açısından belirleyicidir (Dumontier & ark., 2023).

- **Dupuytren Kontraktürü**

Tanım ve Patofizyoloji

Dupuytren kontraktürü, palmar fasyada anormal fibröz doku birikimi sonucu ortaya çıkan ve ilerleyici el deformitesine neden olan bir bağ dokusu hastalığıdır. Özellikle 4. ve 5. parmakları etkileyen bu durum, metakarpofalangeal (MKF) ve interfalangeal (IF) eklemlerde fleksiyon kontraktürlerine neden olur. Hastalık tipik olarak ağrısız seyretmekle birlikte, el fonksiyonlarını kısıtlayarak günlük yaşam aktivitelerini önemli ölçüde zorlaştırabilir (Hindocha & ark., 2020).

Şekil 3. Dupuytren kontraktürü gelişmiş bir olgu



Kaynak: (Desai & Hentz, 2011)

Hastalığın etiyopatogenezi tam olarak açıklanamamış olsa da genetik yatkınlık en önemli risk faktörlerinden biridir. Kuzey Avrupa kökenli bireylerde daha sık görülmesi nedeniyle “Viking hastalığı” olarak da anılır. Erkek cinsiyet, ileri yaş, alkol ve sigara kullanımı, diyabet ve epilepsi durumu risk faktörleri olarak belirtilmektedir (Townley & ark., 2019).

Patofizyolojik süreç, proliferatif, involüsyonel ve rezidüel faz olmak üzere üç evrede incelenir. İlk fazda fibroblast aktivitesi ve myofibroblast dönüşümü artar. İkinci fazda nodüller belirginleşir ve

palmar aponevrozda sertleşme başlar. Son fazda ise kontraktür gelişir ve fonksiyonel kayıplar meydana gelir (Lanting & ark., 2021).

Rehabilitasyon Yaklaşımları

Rehabilitasyon süreci, hastalığın evresine ve uygulanan tıbbi müdahale türüne bağlı olarak planlanır. Cerrahi dışı konservatif yaklaşımlar, genellikle erken evrelerde sınırlı etkiye sahipken, cerrahi veya minimal invaziv girişimler sonrasında uygulanan rehabilitasyon programı, kritik öneme sahiptir (Lanting & ark., 2021).

Konservatif Yaklaşımlar (Erken Evre):

Palmar fasyada nodül oluşumunun başladığı ancak henüz kontraktür gelişmemiş olgularda, konservatif yaklaşımlar denenebilir. Derin friksiyon masajı, yumuşak doku mobilizasyonu, pasif germe egzersizleri ve atel kullanımı önerilen başlıca yöntemlerdendir. Ancak bu yöntemlerin kontraktür gelişimini durdurma etkisi sınırlıdır (Strickland & ark., 2018).

Enjeksiyon Tedavisi Sonrası Rehabilitasyon:

Kollajenaz enjeksiyonu ile bağ dokusunun enzimatik olarak yıkılmasının ardından, düzeltici manipülasyon yöntemleriyle ilgili parmak eklemine müdahale edilir. Bu işlemi takip eden süreçte el, birkaç gün atel ile immobilize edilir. Ardından pasif ve aktif eklem hareket açıklığı egzersizleri, ödem kontrolü ve yumuşak doku bakımı uygulanır. Gece ateli kullanımı en az 6 hafta sürmelidir (Peimer & ark., 2015).

Cerrahi Sonrası Rehabilitasyon:

Fasyektomi veya fasyotomi gibi cerrahi prosedürler sonrasında rehabilitasyon, yara oluşumunu ve kontraktür tekrarını önlemek amacıyla dikkatli planlanmalıdır. Cerrahiden sonraki ilk hafta immobilizasyon uygulanır. İkinci haftadan itibaren aktif ve

pasif parmak hareketlerine başlanır. Ödem kontrolü, yara masajı, silikon jel uygulamaları ve germe egzersizleri bu süreçte önemli yer tutar. 3–6 hafta arasında gece kullanımına özel ateller ile parmak pozisyonunun korunması önerilir (Stanton & ark., 2022).

Fonksiyonel Rehabilitasyon:

Kavrama kuvvetini yeniden kazandırmaya yönelik izometrik ve izotonik egzersizler, günlük yaşamda karşılaşılan işlevsel görevler (yazı yazma, düğme ilikleme, anahtar kullanma, vs.) göz önünde bulundurularak planlanmalıdır. Ergoterapi desteği ile fonksiyonel beceriler rehabilitasyon programına entegre edilebilir (Ball & ark., 2016).

Tekrarı Önleme ve Takip:

Dupuytren kontraktüründe tekrarlanma oranı yüksektir. Bu nedenle uzun dönem takip gereklidir. Hastaya egzersizlerin sürdürülebilirliği, atel kullanım süresi ve el sağlığı konusunda eğitim verilmelidir. Tekrar durumunda müdahale için erken farkındalık önemlidir (Ball & ark., 2016).

• Tendon ve Sinir Yaralanmaları

Tanım ve Patofizyoloji

El ve el bileği bölgesi, karmaşık bir tendon ve sinir ağı ile çevrelenmiştir. Tendon yaralanmaları, sıklıkla travma, kesici alet yaralanmaları veya cerrahi komplikasyonlar sonucu gelişir. Fleksör ve ekstansör tendonlar, parmakların ve el bileğinin motor fonksiyonunu sağladığından, bu yapıların hasarı ciddi fonksiyonel kayıplara yol açabilir. Tendon yaralanmaları genellikle zonlara göre sınıflandırılır ve tedavi planı bu sınıflamaya göre şekillenir (Tang, 2020).

Sinir yaralanmaları ise periferik sinirlerin (özellikle median, ulnar ve radial sinirlerin) hasarıyla karakterizedir. Bu durumlar da

travmatik kesiler, kontüzyonlar veya cerrahi komplikasyonlar sonucu oluşabilir. Sinir hasarının düzeyi (nöropraksi, aksonotmezis, nörotmezis) ve yeri, iyileşme süresinin yanı sıra tedavi stratejilerini de belirler (Nakamura & ark., 2021).

Her iki yapıdaki yaralanmalar motor kontrol, kavrama, duyu ve fonksiyonel beceriler üzerinde doğrudan etkilidir. Bu nedenle, zamanında cerrahi müdahale ve multidisipliner rehabilitasyon süreci, kalıcı fonksiyonel kayıpların önlenmesi açısından hayati öneme sahiptir (Nakamura & ark., 2021).

Rehabilitasyon Yaklaşımları

Rehabilitasyon hem tendon hem de sinir onarımı sonrasında fonksiyonun geri kazanılması, yapışıklıkların önlenmesi ve duyu-motor entegrasyonun sağlanması için sistematik ve bireyselleştirilmiş bir yaklaşımla yürütülmelidir.

1. Fleksör Tendon Yaralanmaları Sonrası Rehabilitasyon:

Tendon onarımı sonrası rehabilitasyon protokolleri, hareketin zamanlaması açısından üç ana grupta toplanır: immobilizasyon, erken kontrollü pasif hareket ve erken kontrollü aktif hareket protokolleri. Günümüzde en sık tercih edilen protokol, erken kontrollü pasif hareket protokolüdür (Doyle & Wilgis, 2019). İlk 3 hafta: Dorsal blok atel içinde pasif fleksiyon ve aktif ekstansiyon egzersizleri uygulanır. Tendon iyileşmesini desteklerken yapışıklık riskini azaltır. 3–6 hafta: Aktif hareketler başlatılır, tendon yüklenmesine dikkat edilerek kontrollü ilerleme sağlanır. 6. haftadan sonra: Dirençli egzersizlere geçilir, kavrama ve fonksiyonel kullanım hedeflenir (Doyle & Wilgis, 2019).

Ekstansör Tendon Yaralanmaları:

Ekstansör tendon yaralanmalarında da zonlara göre tedavi ve rehabilitasyon yaklaşımı değişir. Ekstansör tendonlar cilt yüzeyine daha yakın olduğundan yapışıklık riski daha yüksektir. Dinamik

atelleme, aktif ekstansiyonun korunması ve pasif fleksiyonun desteklenmesi açısından sıklıkla kullanılır (Pet & ark., 2020).

Periferik Sinir Yaralanmaları Sonrası Rehabilitasyon

Sinir iyileşmesi yavaştır ve 1 mm/gün hızla ilerler. Bu süreçte hedef; eklem hareket açıklığının korunması, kas atrofisinin önlenmesi ve yeniden innerve olan kasların fonksiyonel olarak eğitilmesidir (Nakamura & ark., 2021).

Duyu Eğitimi:

İlk fazda koruyucu duyu eğitimi (örneğin ısı, travma uyarılarına dikkat) yapılırken, reinnervasyon başladığında ayırt edici duyu eğitimi (örneğin iki nokta ayrımı, şekil tanıma) başlanır. Literatürde bu yaklaşımın kortikal reorganizasyona katkı sağladığı bildirilmiştir (Novak & ark., 2016).

Kas Kuvvetlendirme ve Stimülasyon:

Kasların tekrar innerve olmasını takiben düşük düzeyli kas stimülasyonu (örneğin nöromüsküler elektrik stimülasyonu) kullanılabilir. Kas aktivitesinin artması için izometrik ve izotonik egzersizler, fonksiyonel görevler temel alınarak yapılandırılır (Nakamura & ark., 2021).

Atel ve Yardımcı Cihaz Uygulamaları:

Kas dengesizliği gelişen olgularda (örneğin: pençe el deformitesi) fonksiyonel atel kullanımı gereklidir. Dinamik ateller, parmakların ve başparmağın fonksiyonel pozisyonda korunmasını sağlar (Nakamura & ark., 2021).

Fonksiyonel Geri Kazanım ve Günlük Yaşama Dönüş:

Son aşamada amaç, kavrama, bırakma, ince motor beceriler ve bilateral koordinasyon gibi işlevlerin geri kazanımıdır. Ergoterapi müdahalesi ile bireyin mesleki ve sosyal yaşantısına yeniden

katılımını kolaylaştıracak işlevsel becerileri geliştirmesi desteklenir. Aktivite temelli terapiler, gerçek yaşam senaryoları üzerinden yapılmalıdır (Nakamura & ark., 2021).

• El Kırıkları

Tanım ve Patofizyoloji

El kırıkları, elin metakarpal ve falanks kemiklerinde meydana gelen travmatik yaralanmalardır. Tüm üst ekstremitte kırıkları arasında önemli bir paya sahip olan el kırıkları, genellikle düşme, spor yaralanmaları, iş kazaları ve doğrudan darbeler sonucu oluşur. En sık görülen kırık bölgeleri; beşinci metakarpal (boksör kırığı), birinci metakarpal taban kırıkları (örneğin Bennett kırığı) ve proksimal falanks kırıklarıdır (Chung & Spilson, 2020).

Kırıkların sınıflandırılması açık-kapalı, deplasmanlı-deplasmanlısız, intraartiküler-ekstraartiküler gibi parametrelere göre yapılır. Stabilitate, kırık hattının yerleşimi ve yumuşak doku bütünlüğü, tedavi seçimini ve rehabilitasyon süresini belirler. Elin karmaşık yapısı nedeniyle kırık iyileşmesi sadece kemik konsolidasyonu ile değil; aynı zamanda eklem hareketliliği, kas kuvveti ve fonksiyonel becerilerin geri kazanımıyla birlikte değerlendirilmelidir (Merritt & ark., 2021).

Rehabilitasyon Yaklaşımları

El kırıklarının rehabilitasyonu, kırığın tipi, cerrahi veya konservatif tedaviye yanıt ve yumuşak doku bütünlüğüne göre bireyselleştirilmelidir. Temel hedefler; ödemin kontrolü, eklem hareket açıklığının korunması, kas kuvvetinin geri kazanılması ve fonksiyonel bağımsızlığın sağlanmasıdır (Handoll & Elliott, 2015).

Konservatif Tedavi:

Deplasmanlı ve stabil kırıklar genellikle immobilizasyon ile tedavi edilir. Alçı veya atel uygulamasını takip eden süreçte, eklem

sertliği ve kas atrofi riskine karşı erken mobilizasyon planlanmalıdır. İmmobilizasyon s¼recinde (ilk 3–4 hafta), ¼demin kontrol¼ (y¼ksekte tutma, kriyoterapi), parmak egzersizleri (¼zellikle distal parmak eklemleri) ve yumuşak doku koruma eğitimi verilir. D¼rd¼nc¼ haftadan itibaren ise eklem hareket a¼ıklıđını artırmaya y¼nelik pasif ve aktif egzersizlere başlanır; kavrama egzersizleri, aşamalı olarak fonksiyonel el kullanımına entegre edilir (Dawson & ark., 2019).

Cerrahi Sonrası Rehabilitasyon:

İntraartik¼ler kırıklar, deplasmanlı kırıklar veya yumuşak doku hasarı eşlik eden durumlarda cerrahi tedavi tercih edilir (¼rneđin: plak-vida fiksasyonu, intramed¼ller ¼ivileme). Cerrahi sonrası rehabilitasyonun temel prensipleri, stabilizasyonun korunması ile erken kontroll¼ hareketin sağlanmasıdır. 1.–2. hafta: Koruyucu atel ile destek, ¼dem kontrol¼, aktif parmak hareketleri. 2.–6. hafta: Aktif ve aktif yardımcı el bileği ve parmak hareketleri, pasif eklem mobilizasyonları. 6. haftadan itibaren: Dirençli egzersizler, kavrama/bırakma aktiviteleri ve ince motor beceriler ¼zerine yoğunlaşma (Kay & ark., 2022).

Modaliteler ve Yardımcı Uygulamalar:

TENS, ultrason ve parafin banyoları gibi fiziksel ajanlar, ağrı kontrol¼ ve doku elastikiyeti ¼zerinde etkilidir. Dinamik ateller, eklem hareketini desteklemek ve kontrakt¼r gelişimini ¼nlemek amacıyla belirli olgularda kullanılır (Handoll & Elliott, 2015).

Fonksiyonel Rehabilitasyon:

Rehabilitasyonun ileri aşamasında; yazı yazma, ¼atal-kaşık kullanma, anahtar ¼evirme gibi g¼nl¼k yaşam aktiviteleri taklit edilerek fonksiyonel geri kazanım sağlanır. Bu s¼reçte ergoterapi uygulamaları, bireyin mesleki becerilerinin yeniden yapılandırılmasında etkili olabilir (Handoll & Elliott, 2015).

İzlem ve Tekrarın Önlenmesi:

İyileşmenin düzenli olarak değerlendirilmesi, gerekirse protokollerin revize edilmesi önemlidir. Tekrarlayan travmaların önlenmesi ve hatalı hareket paternlerinin düzeltilmesi için hasta eğitimi verilmelidir (Handoll & Elliott, 2015).

• Romatolojik Hastalıklar

Tanım ve Patofizyoloji

Romatoid artrit (RA) ve osteoartrit (OA), el ve el bileği eklemlerini sıklıkla etkileyen, ancak patofizyolojik mekanizmaları ve klinik seyirleri birbirinden farklı olan iki yaygın romatolojik hastalıktır. RA, sinovyal dokunun enflamatuvar yolla tutulmasıyla gelişen sistemik bir otoimmün hastalıkken; OA, kıkırdak dejenerasyonu ve subkondral kemik değişiklikleriyle karakterize dejeneratif bir hastalıktır (Haugen & ark., 2020; Smolen & ark., 2021).

Şekil 4. Osteoartrit tanılı bir olgunun görüntüsü ve radyografisi

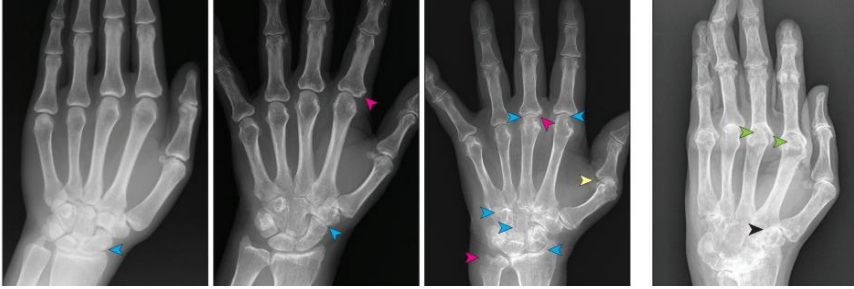


Kaynak: (Haugen & Bøyesen, 2011).

RA genellikle MKF, İF ve el bileği eklemlerini simetrik olarak etkiler. Sinovyumda hiperplazi, pannus oluşumu, kıkırdak yıkımı ve ligament gevşekliği sonucunda deformiteler (örneğin ulnar deviasyon, Boutonniere ve swan neck deformiteleri) gelişebilir (Weiss & ark., 2020). OA ise daha çok distal interfalangeal (DİF)

eklem, proksimal interfalangeal (PİF) eklem ve 1. Karpometakarpal eklem (KMK) eklemleri tutar. Heberden ve Bouchard nodülleri, osteofit oluşumu ve eklem hareket açıklığı kaybı tipiktir (Bijsterbosch & ark., 2019).

Şekil 5. Seviyelere göre romatoid artrit tanılı olguların radyolojik görüntüleri. Soldan sağa RA seviyeleri: erken evre RA, orta evre RA, gelişmiş evre RA, son evre RA.



Kaynak: (Aletaha & Smolen, 2018).

Rehabilitasyon Yaklaşımları

Her iki hastalıkta da rehabilitasyonun temel hedefi; ağrının azaltılması, eklem hareket açıklığının korunması, kas kuvvetinin artırılması ve fonksiyonel bağımsızlığın sürdürülmesidir. Ancak tedavi süreci, hastalığın enflamatuvar mı yoksa dejeneratif mi olduğuna göre farklı planlanır (Hammond & ark., 2022; Smolen & ark., 2021).

Ağrı Yönetimi ve Eklem Koruma Stratejileri:

RA'da: Akut inflamasyon dönemlerinde istirahat atelleri, kriyoterapi ve izometrik egzersizler ön plandadır. Eklemlerin aşırı zorlanmasından kaçınılmalıdır (Hurkmans & ark., 2019). OA'da: Sıcak uygulamalar (parafin banyosu, sıcak kompres) ağrıyı ve sabah tutukluğunu azaltmada etkilidir. Ağrıyı tetikleyen aktivitelerden kaçınılmalı, eklem koruma stratejileri öğretilmelidir (Hammond & ark., 2022).

Egzersiz Programları:

Aktif ve aktif yardımcı egzersizler ile eklem hareket açıklığı korunur. İzometrik ve izotonik kas kuvvetlendirme egzersizleri, özellikle başparmak ve el bileği çevresi kaslara yönelik yapılır. İnce motor becerilere yönelik fonksiyonel egzersizler, kavrama ve el becerilerini destekler (Dziedzic & ark., 2019).

Atelleme:

RA'da deformitelerin önlenmesi ve istirahatın sağlanması için gece atelleri kullanılır. OA'da başparmak KMK eklem osteoartriti için fonksiyonel ateller ağrıyı azaltır ve eklem stabilitesini artırır (O'Brien & Jones, 2022).

Ergoterapi ve Yardımcı Cihaz Uygulamaları:

Her iki hastalıkta da günlük yaşam aktiviteleri için yardımcı cihazlar (kalın saplı kalem, özel mutfak gereçleri) önerilir. Ergoterapistler, aktivite modifikasyonu ve enerji koruma teknikleri konusunda kişiye özgü çözümler sunar (O'Brien & Jones, 2022).

Hasta Eğitimi ve Takip:

Eklem koruma prensipleri, egzersizlerin önemi ve tekrarı önleyici stratejiler konusunda bilgilendirme yapılır. Süreç boyunca multidisipliner ekip takibi (fizyoterapist, ergoterapist, romatolog) rehabilitasyon başarısını artırır (Hammond & ark., 2022; Smolen & ark., 2021).

Kaynakça

Akalin, E., El, Ö., Peker, Ö., Senocak, Ö., Tamci, S., Gülbahar, S., & Cakmur, R. (2020). Treatment of carpal tunnel syndrome with nerve and tendon gliding exercises and splinting: A randomized controlled study. *Clinical Rehabilitation*, 34(2), 210–218.

Aletaha, D., & Smolen, J. S. (2018). Diagnosis and Management of Rheumatoid Arthritis: A Review. *JAMA - Journal of the American Medical Association*, 320(13), 1360–1372. <https://doi.org/10.1001/jama.2018.13103>

Atkins, D., Michlovitz, S. L., & Burke, J. P. (2021). Modalities for therapeutic intervention (6th ed.). Philadelphia: F.A. Davis Company.

Avci, S., Altinel, L., & Gülbahar, S. (2022). De Quervain tenosynovitis: Clinical evaluation and management. *Archives of Rheumatology*, 37(4), 486–493.

Ball, C., Izadi, D., Verjee, L. S., Chan, J., & Nanchahal, J. (2016). Systematic review of non-surgical treatments for early dupuytren's disease. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 17(1). <https://doi.org/10.1186/s12891-016-1200-y>

Bijsterbosch, J., Watt, I., Meulenbelt, I., et al. (2019). Clinical and radiographic features of hand osteoarthritis and associations with pain and limitations. *Arthritis Research & Therapy*, 21(1), 198.

Bodor, M., Montalvo, E., & Young, G. (2019). Rehabilitative approach to de Quervain's disease: What works and when to operate. *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine*, 12(4), 456–463.

Brady, P. C., Bindra, R. R., & Garcia-Elias, M. (2022). Carpal instability: Diagnosis, classification, and treatment. *Journal of Hand Surgery*, 47(5), 463–476.

Chung, K. C., & Spilson, S. V. (2020). The frequency and epidemiology of hand and forearm fractures in the United States. *The Journal of Hand Surgery*, 45(3), 231–238.

Coombes, B. K., Bisset, L., & Vicenzino, B. (2015). Management of tendinopathy: Clinical guidelines for the physical therapist. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 45(11), 901–910.

Corvino, A., Lonardo, V., Corvino, F., Tafuri, D., Pizzi, A. D., & Cocco, G. (2023). “Daddy wrist”: A high-resolution ultrasound diagnosis of de Quervain tenosynovitis. *Journal of Clinical Ultrasound*, 51(5), 845–847. <https://doi.org/10.1002/jcu.23440>

Dawson, J., Horton, T., & Bebbington, A. (2019). Hand fracture rehabilitation. *British Journal of Sports Medicine*, 53(3), 180–185.

Desai, S. S., & Hentz, V. R. (2011). The treatment of Dupuytren disease. *Journal of Hand Surgery*, 36(5), 936–942. <https://doi.org/10.1016/j.jhsa.2011.03.002>

Doyle, J. R., & Wilgis, E. F. (2019). Tendon healing and flexor tendon rehabilitation. In *Green's Operative Hand Surgery* (8th ed., pp. 210–225). Philadelphia: Elsevier.

Dumontier, C., Dap F., & Leclercq, C. (2023). Surgical management of carpal instabilities: Indications and outcomes. *Hand Clinics*, 39(1), 67–81.

Dziedzic, K. S., Nicholls, E., Hill, S., Hammond, A., Handy, J., Thomas, E., & Hay, E. M. (2019). Self-management approaches for hand osteoarthritis: A randomized trial. *Annals of the Rheumatic Diseases*, 78(6), 778–785.

Fernández-de-Las-Peñas, C., Cleland, J. A., Huijbregts, P., & Palomeque-del-Cerro, L. (2015). Manual physical therapy versus

surgery for carpal tunnel syndrome: A randomized parallel-group trial. *Journal of Pain*, 16(10), 965–972.

Garcia-Elias, M., Lluch, A. L., & Stanley, J. K. (2020). Three-ligament tenodesis for the treatment of scapholunate dissociation. *Techniques in Hand & Upper Extremity Surgery*, 24(2), 65–72.

Ghasemi, M., Rezaee, M., & Hashemi, M. (2020). Biomechanics of carpal tunnel syndrome: A review. *Muscles, Ligaments and Tendons Journal*, 10(2), 338–345.

Hammond, A., Prior, Y., Tyson, S. F., & Radford, K. (2022). Multidisciplinary management of hand osteoarthritis: A UK consensus. *Musculoskeletal Care*, 20(1), 55–66.

Handoll, H. H. G., & Elliott, J. (2015). Rehabilitation for distal radial fractures in adults. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2015(9).

Haugen, I. K., & Bøyesen, P. (2011). Imaging modalities in hand osteoarthritis - status and perspectives of conventional radiography, magnetic resonance imaging, and ultrasonography. *Arthritis Research and Therapy*, 13(6)

Haugen, I. K., Englund, M., Aliabadi, P., Niu, J., Clancy, M., & Felson, D. T. (2020). Prevalence, incidence and progression of hand osteoarthritis in the general population: The Framingham Osteoarthritis Study. *Annals of the Rheumatic Diseases*, 79(3), 360–368.

Hindocha, S., Stanley, J. K., Watson, S., & Bayat, A. (2020). Dupuytren's disease: An overview of aetiology, pathophysiology and current treatment approaches. *The Open Orthopaedics Journal*, 14, 87–96.

Hurkmans, E. J., van der Giesen, F. J., Vliet Vlieland, T. P. M., Schoones, J. W., & van den Ende, C. H. M. (2019). Dynamic exercise programs (aerobic capacity and/or muscle strength training) in patients with rheumatoid arthritis. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2019(10), CD006853.

Kay, S. P., Higgins, J. P., & Crijns, T. J. (2022). Rehabilitation of the hand following fractures and internal fixation. *Hand Clinics*, 38(1), 99–115.

Kluge, S., Happee, R., & Maas, H. (2022). Rehabilitation after carpal tunnel release: Timing and modalities. *Journal of Hand Therapy*, 35(3), 463–472.

Lanting, R., Broekstra, D. C., Werker, P. M. N., & van den Heuvel, E. R. (2021). A systematic review and meta-analysis on the effectiveness of nonsurgical treatments for Dupuytren's disease. *Journal of Hand Surgery European Volume*, 46(3), 287–296.

Leclercq, C., Mathoulin, C., & Pomares, G. (2022). Functional anatomy and biomechanics of the hand and wrist. In C. Leclercq & G. Pomares (Eds.), *Surgical Techniques for the Hand and Wrist* (pp. 1–14). Cham, Switzerland: Springer.

Lee, J. H., Kim, S. Y., & Lee, S. M. (2018). Effects of therapeutic ultrasound on pain and inflammation in de Quervain's disease: A randomized controlled trial. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*, 31(2), 331–337.

Lichtman, D. M., Wroten, M., & Scobercea, R. (2021). Pathomechanics of carpal instability. *The Journal of Hand Surgery: Global Online*, 3(4), 185–193.

MacDermid, J. C., & Tang, K. (2020). Evidence-based approach to evaluation and management of the wrist and hand. *Journal of Hand Therapy*, 33(2), 180–188.

MacDermid, J. C., Michlovitz, S. L., & LaStayo, P. C. (2020). Examination of the hand and wrist. In D. A. Magee et al. (Eds.), *Orthopedic physical assessment* (7th ed., pp. 515–580). Philadelphia, USA: Elsevier.

Martins, M. M., Silva, A. B., & Cordeiro, J. V. (2023). Exercise therapy in the management of de Quervain's tenosynovitis: A systematic review. *Musculoskeletal Science and Practice*, 64, 102718.

Merritt, K. A., Kamal, R. N., & Calfee, R. P. (2021). Management of metacarpal fractures. *The Journal of Hand Surgery*, 46(2), 153–161.

Michlovitz, S. L., & LaStayo, P. (2021). Hand rehabilitation: Current perspectives. *Journal of Hand Therapy*, 34(2), 143–149.

Nakamura, T., Kurokawa, T., & Kawai, H. (2021). Nerve injuries of the hand: Diagnosis, treatment, and rehabilitation. *Hand Clinics*, 37(1), 1–12.

Novak, C. B., von der Heyde, R. L., & Mackinnon, S. E. (2016). Reeducation of sensation after nerve injury. *Hand Clinics*, 32(3), 341–349.

O'Brien, A. V., & Jones, A. (2022). Hand splinting for rheumatoid arthritis. In *Evidence-Based Hand and Wrist Rehabilitation* (pp. 235–248). Switzerland: Springer.

O'Brien, L., Vicenzino, B., & Healy, E. (2023). Interdisciplinary collaboration in upper extremity rehabilitation: An emerging necessity. *Physiotherapy Research International*, 28(1), e1960.

O'Connor, D., Marshall, S., & Massy-Westropp, N. (2022). Non-surgical treatment (other than steroid injection) for carpal

tunnel syndrome. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 1(1), CD003219.

Padua, L., Coraci, D., Erra, C., Pazzaglia, C., Paolasso, I., Loreti, C., Caliendo, P., Hobson-Webb, L. D., & Antonini, G. (2016). Carpal tunnel syndrome: Clinical features, diagnosis, and management. *The Lancet Neurology*, 15(12), 1273–1284.

Pagonis, T. A., Karageorgos, A., & Mavrogenis, A. F. (2021). De Quervain's tenosynovitis: Diagnosis and treatment strategies. *EFORT Open Reviews*, 6(9), 789–796.

Peimer, C. A., Blazar, P., Coleman, S., Kaplan, F. T., Smith, T., & Lindley, S. (2015). Dupuytren's contracture recurrence following treatment with collagenase *Clostridium histolyticum* (CORDLESS study): 3-year data. *The Journal of Hand Surgery*, 40(8), 1597–1605.

Pet, M. A., Ko, J. H., Friedly, J. L., & Stoddard, G. J. (2020). Extensor tendon rehabilitation protocols: A systematic review. *The Journal of Hand Surgery*, 45(7), 645–654.

Piazza, C., Wessel, S. K., & Smith, J. (2021). Conservative management of carpal tunnel syndrome: An updated review. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 51(6).

Prosser, L. A., & McMahon, J. M. (2022). Adherence and outcomes in hand therapy: The role of patient engagement. *Journal of Hand Surgery*, 47(3), 275–281.

Rancy, S. K., & Lee, S. K. (2020). Nonsurgical management of wrist instability. *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine*, 13(2), 143–150.

Smolen, J. S., Aletaha, D., & McInnes, I. B. (2021). Rheumatoid arthritis. *The Lancet*, 397(10279), 1094–1108.

Stanton, M., Mufarrih, S. H., & Venkateswaran, B. (2022). Post-operative rehabilitation strategies for Dupuytren's disease: An updated review. *Hand Therapy*, 27(1), 34–42.

Strickland, J. W., & Tang, J. B. (2018). Rehabilitation of the hand and upper extremity: Nonoperative and postoperative management. In Green's Operative Hand Surgery (8th ed., pp. 157–171). Philadelphia: Elsevier.

Tang, J. B. (2020). Flexor tendon injuries. *The New England Journal of Medicine*, 382(26), 2526–2534.

Tomaino, M. M. (2020). Common hand problems in new mothers: Diagnosis and treatment. *The Journal of Hand Surgery*, 45(1), 71–78.

Townley, W. A., Baker, R., Sheppard, N., Grobbelaar, A. O., & Watkins, C. (2019). Dupuytren's contracture unfolded: Histopathological and clinical perspectives. *Plastic and Reconstructive Surgery*, 144(1), 141–151.

Ulvi, H., Yiğiter, R., Aygöl, R., & Orhan Varoğlu, A. (2004). Karpal Tünel Sendromunda Tanı ve Tedavi Yaklaşımları. *Van Tıp Dergisi*, 11(4), 155–160.

Wei, R., Gardner, J. E., Schaaf, S., Hill, J. B., & Bailowitz, Z. (2023). Evaluation and Management of Carpal Instability. *Current Physical Medicine and Rehabilitation Reports*, 11(2), 212–222. <https://doi.org/10.1007/s40141-023-00400-y>

Weiss, S., Kafaja, S., & Glickman, S. (2020). Rheumatoid hand deformities and surgical interventions. *Rheumatic Disease Clinics of North America*, 46(4), 601–615.

Wolff, A. L., & Garcia-Elias, M. (2019). The role of the intrinsic and extrinsic ligaments in carpal stability. *Journal of Wrist Surgery*, 8(3), 171–178.

