

**T.C.
HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FARKLI FİZYOTERAPİ-REHABİLİTASYON
UYGULAMALARININ EL BİLEĞİ PROPRIOSEPSİYONU
ÜZERİNE OLAN ETKİNLİĞİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

Uzm. Fzt. Emin Ulaş ERDEM

**Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Programı
DOKTORA TEZİ**

**TEZ DANIŞMANI
Prof. Dr. Filiz CAN**

**ANKARA
2013**

Anabilim Dalı: Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon

Program: Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon

Tez Başlığı: FARKLI FİZYOTERAPİ REHABİLİTASYON
UYGULAMALARININ EL BİLEĞİ PROPRİOSEPSİYONU ÜZERİNE OLAN
ETKİNLİĞİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

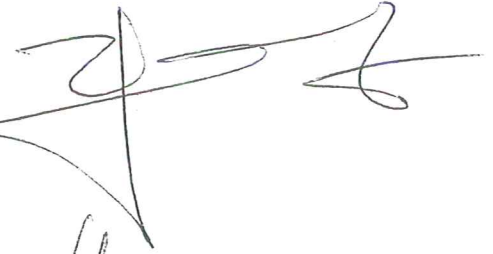
Öğrenci Adı Soyadı: Emin Ulaş ERDEM

Sınav Savunma Tarihi: 28 Mart 2013

Bu çalışma jürimiz tarafından doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı

Prof. Dr. Yavuz YAKUT
Hacettepe Üniversitesi



Tez Danışmanı

Prof. Dr. Filiz CAN
Hacettepe Üniversitesi



Üye

Prof. Dr. Mahmut Nedim DORAL
Hacettepe Üniversitesi



Üye

Prof. Dr. Zafer ERDEN
Hacettepe Üniversitesi



Üye


Doç. Dr. Zuhâl KUNDURACILAR
Bülent Ecevit Üniversitesi

ONAY

Bu tez Hacettepe Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav
Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca yukarıdaki jüri tarafından uygun
görölmüş ve Sağlık Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu kararıyla kabul
edilmiştir.

Prof. Dr. Ersin Fadıllıoğlu

Müdür y



TEŞEKKÜR

Her türlü kahrımı ve çilemi çekerek beni yetirip, büyütüp bugünlere getiren canım anneme (Anne, bitti!) ve karizmatik babama,

Yoldaşım, sırdaşım, dertdaşım, arka taşım, kardeşim Erkan'a (ve tabi ki sevgili eşi Burcu'ya) ,

Kahkahadaşım, gururum, kıyamadığım, kız kardeşim İlke'ye,

“Başarılı erkeğin arkasındaki muhteşem kadın”, hayat arkadaşım, eşim, sevgili Duygu'ya,

Aslan oğlum Deniz'e ve biricik kızım Duru'ya,

Sırtımda Kâbe'ye taşısam da hakkını ödeyemeyeceğim, ikinci annem Semiha Teyzem'e,

Hep olmaya çalıştığım, özendiğim Soner Dayım'a,

Bana mesleğimi öğreten tüm hocalarıma ve onlara öğreten tüm hocaların hocalarına,

Tanıdığım en kral fizik tedavi uzmanı sayın Dr. Hasan Şahin'e,

Tezin istatistiksel analizlerinde desteklerinden dolayı sayın Hakan Çakır'a,

İlimimde bana ilham veren ve verecek olan tüm hastalarım,

ve

Bana bilimin ne olduğunu ve ne olmadığını gösteren, mesleğimde bana balık vermek yerine balık tutmayı öğreten, anatomi ve biyomekanik zekâsı ile beni her zaman şaşırtan, zarafeti ve asaleti ile beni ve herkesi kendine hayran bırakan, her zaman yoluma ışık tutan, her konuda feyiz aldığım,

Fizyoterapistlik mesleğine vaktini, servetini, sevgisini, ömrünü harcayan,

Ve öğrencisi olmaktan her zaman onur duyduğum,

Kıymetli hocam sayın Prof. Dr. Filiz Can'a

Bu doktora tezim vesilesi ile en samimi minnettarlığımı ve teşekkürlerimi bir borç bilirim.

ÖZET

Erdem E.U. Farklı fizyoterapi-rehabilitasyon uygulamalarının el bileği propriosepsiyonu üzerine olan etkinliğinin karşılaştırılması. Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Programı Doktora Tezi, Ankara, 2013. Propriosepsiyon ile ilgili çalışmalar son yıllarda artan bir ilgiyle devam etmesine karşın el bileği eklemının propriosepsiyonu hakkında pek az araştırma mevcuttur. Farklı fizyoterapi-rehabilitasyon uygulamalarının el bileği propriosepsiyonuna ve elin duyusuna olan etkilerini araştırmak üzere düzenlenen bu çalışmaya 60 sağlıklı gönüllü birey katılmıştır. Basit rastgele yöntemle kontrol grubu, vibrasyon grubu, egzersiz grubu ve proprioseptif egzersiz grubu olmak üzere dört farklı gruba ayrılan bireylere; özgün olarak tasarladığımız el bileği gonyometresi ile eklem pozisyon hissi değerlendirmesi, el dinamometresi ile kavrama hassasiyeti değerlendirmesi, Stabilizer Pressure Biofeedback® aleti ile elin basınç hassasiyeti değerlendirmesi, Semmes-Weinstein® monofilamentleri ile duyu algı eşiği değerlendirmesi ve diskriminatör ile iki nokta ayırımı değerlendirmesi yapılmıştır. Vibrasyon grubuna diyapazon ile el bileğine vibrasyon uygulaması, egzersiz grubuna üç hafta boyunca haftada üç seans geleneksel el bileği kuvvetlendirme egzersizleri ve proprioseptif egzersiz grubuna üç hafta boyunca haftada üç seans germe, stabilizasyon, perturbasyon, PNF teknikleri, aproksimasyon, manuel traksiyonu içeren proprioseptif eğitim verilmiştir. Tedavi öncesi yapılan değerlendirmeler tedavi sonrasında tekrarlanmış, elde edilen ölçüm sonuçları grup içi ve gruplar arası olacak şekilde karşılaştırılmıştır. 30° fleksiyon eklem pozisyon hissinde, kavrama hassasiyetinde ve iki nokta ayırımı ölçümünde (işaret parmak hariç), propriosepsiyon grubu lehine istatistiksel olarak anlamlı gelişmeler gözlenmiştir ($p<0.05$). El basınç hassasiyetinde her iki egzersiz grubunda anlamlı farklar bulunmuştur ($p<0.05$). Duyu eşiği ölçümünde proprioseptif grubun sadece yüzük parmağın hassasiyetinde anlamlı bir fark bulunmuştur. Diğer taraftan vibrasyon grubunun işaret parmağında vibrasyon sonrası duyu ile ilgili hassasiyetin azaldığı gözlenmiştir. Sonuçlarımıza göre; proprioseptif egzersiz eğitiminin, el bileği ve elin propriosepsiyonuna olumlu katkısı olduğu görülmesine karşın, literatürde sonuçlarımızı karşılaştırabileceğimiz el bileği propriosepsiyonu ile ilgili neredeyse hiçbir çalışma olmaması daha kesin bir yorum yapmamızı güçleştirmektedir. Kavrama hassasiyeti ve el basınç hassasiyeti gibi yeni parametreler ile, el ve el bileği propriosepsiyonu daha iyi değerlendirilebilecektir. Propriosepsiyon konusunda; el bileği patolojilerinde yapılacak geniş serili karşılaştırmalı çalışmalara ihtiyaç vardır. Bu bağlamda çalışmamızın, yapılacak ileri çalışmalara kaynak olabileceği kanısındayız.

Anahtar Kelimeler: El bileği propriosepsiyonu, Proprioseptif egzersiz, kuvvet hassasiyeti, Elin basınç hassasiyeti, İki nokta ayırımı

ABSTRACT

Erdem E.U. The comparative study on efficiency of different physiotherapeutic approaches in wrist proprioception. Hacettepe University Institute of Health Sciences, Ph.D. Thesis in Physical Therapy and Rehabilitation, Ankara, 2013. Although studies concerned with proprioception goes on with arising interest in recent decades, there are very few researches existed about wrist proprioception. 60 healthy volunteers participated in this study which is arranged in order to seek the affects of different physiotherapy-rehabilitation practices to hand sensation and wrist proprioception. After dividing subjects randomizingly into four groups such as control group, vibration group, exercise group and proprioceptive exercise group; joint position sense assessed with a wrist goniometer originally designed by us, grip sensitivity evaluated with hand dynamometer, palm pressure sensitivity measured with Stabilizer Pressure Biofeedback®, sense perception threshold measured with Semmes Weinstein Monofilaments® and two point discrimination threshold detected with discriminator. With a diapason, vibration application was performed to wrist in vibration group, traditional wrist strengthening exercises were accomplished to exercise group three times per week, a total of three weeks and proprioception exercises including stretching, stabilization, perturbation, PNF techniques, approximation and manual traction were trained in proprioceptive exercise group three times per week, a total of three weeks. Then all measurements were repeated. Possible differences were inquired intra groups and inter groups. Statistically significant improvements were obtained in favor of proprioceptive exercise group in 30° flexion joint position sense, grip sensitivity and two point discrimination threshold (except index finger) ($p<0.05$). Also significant progresses established in palm pressure sensitivity in both exercise groups ($p<0.05$). In sense perception threshold assessment a significant difference was obtained only in ring finger sensitivity of proprioception group. On the other hand, a decrease in sensitivity of index finger was detected in vibration group after vibration application ($p<0.05$). According to our results; though a positive contribution was obtained in proprioceptive exercise training to wrist and hand proprioception, due to no study existed in the literature about wrist proprioception which we can compare our results, complicates making more exact conclusions. Hand and wrist proprioception can be assess much better with these new parameters such as grip sensitivity and palm pressure sensitivity. In proprioception; there is need to be perform comparative researches related to wrist pathologies with wide series and studies among investigating the affects of exercises. In this respect, we hope our study will be a reference to further studies.

Keywords: Wrist proprioception, Proprioceptive exercises, Force sensitivity, Palm pressure sensitivity, Two point discrimination

İÇİNDEKİLER

	sayfa
ONAY SAYFASI	iii
TEŞEKKÜR	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
TABLolar DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1 El Bileğinin Anatomi Ve Kinezyolojisi	4
2.1.1 Kemik Anatomi	4
2.1.2 Artroloji	8
2.1.3 El Bileği Ligamentleri	10
2.1.4 El Bileği Hareketinin Kinematiği	14
2.1.5 Kas ve Eklem Etkileşimi	21
2.1.6 Vasküler Anatomi	30
2.2 Proprioepsiyon	33
2.2.1 Duyu sistemlerine genel bakış	33
2.2.2 Derideki Reseptörler	35
2.2.3 Kas ve Eklem Reseptörleri	37
2.2.4 Kas Geriliminin Proprioseptif Refleks Kontrolü	40
2.2.5 Proprioepsiyonun Çıkan Yolları	44
2.2.6 Proprioepsiyonun Komponentleri	51
2.2.7 El Bileğinde Proprioepsiyon	56
2.2.8 Proprioepsiyonun Değerlendirilmesi	59
3. BİREYLER VE YÖNTEM	61
3.1 Bireyler	61
3.2 Yöntem	61
3.2.1 El Bileği EPH Değerlendirmesi	63

3.2.2 Kavrama Hassasiyeti Değerlendirmesi	64
3.2.3 Elin Basınç Hassasiyeti Değerlendirmesi	64
3.2.4 Duyu Eşiği Değerlendirmesi	65
3.2.5 İki Nokta Ayırımı Değerlendirmesi:	67
3.2.6 Grup I (Kontrol Grubu):	67
3.2.7 Grup II (Vibrasyon Grubu):	67
3.2.8 Grup III (Egzersiz Grubu)	68
3.2.9 Grup IV (Proprioseptif Eğitim Grubu):	70
3.3 İstatistiksel değerlendirme	76
4. BULGULAR	77
5. TARTIŞMA	89
5.1 Çalışmanın Limitasyonları	104
6. SONUÇLAR	106
7. KAYNAKLAR	109

SİMGELER VE KISALTMALAR

(°)	Derece
EHA	Eklem hareket açıklığı
EMG	Elektromyografi
EPH	Eklem pozisyon hissi
Hz	Hertz
M	Muskulus
mm	Milimetre
PNF	Proprioseptif nöromusküler fasilitasyon
psi	Pressure square per inch
SBP	Stabilizer Pressure Biofeedback
TFCC	Triangüler fibrokartilaj kompleks

ŞEKİLLER

Şekil 2.1: Karpal kemikler	6
Şekil 2.2: Karpal tünel	8
Şekil 2.3: Radiokarpal eklem	9
Şekil 2.4: El bileği ligamentleri (dorsal görünüm)	11
Şekil 2.5: El bileği ligamentleri (volar görünüm)	12
Şekil 2.6: Trianguler fibrokartilaj	13
Şekil 2.7: El bileği eklemindeki hareketler	16
Şekil 2.8: El bileği merkezi kolon eklemlerinin dinamik etkileşimi	17
Şekil 2.9: Radiokarpal ve Midkarpal Eklem Arasındaki Dinamik Etkileşim	19
Şekil 2.10: El bileğinden geçen tendonların kesit alanlarının büyüklüğü ve moment merkezleri	22
Şekil 2.11: Kavrama sırasında ekstansör mekanizma	25
Şekil 2.12: Radial deviasyon mekanizması	28
Şekil 2.13: Ulnar deviasyon mekanizması	30
Şekil 2.14: El bileği arterleri (volar görünüm)	31
Şekil 2.15: El bileği arterleri (dorsal görünüm)	32
Şekil 2.16: Proprioepsiyonun organizasyonu	34
Şekil 2.17: Kılız derideki reseptörler	35
Şekil 2.18: Kılız derideki reseptörler	35
Şekil 2.18: Merkel diski ve serbest sinir sonlanması	36
Şekil 2.19: Kas ve eklemlerdeki reseptörler	38
Şekil 2.20: Kas içiği	39
Şekil 2.21: Pasif gerilme	41
Şekil 2.22: Aktif kasılma	42
Şekil 2.23: Gamma koaktivasyonu ile aktif kasılma	43
Şekil 2.24: Omuriliğin başlıca inen-çıkan yolları	44
Şekil 2.25: Şuurlu proprioepsiyonun çıkan yolları	45
Şekil 2.26: Şuursuz proprioepsiyonun yolları	47
Şekil 2.27: Proprioepsiyonun komponentleri	51
Şekil 2.28: El bileğinde proprioepsiyonun iletimi	56
Şekil 2.29: El bileği ligamentlerinin mekanoreseptör ve sinir yoğunlukları	58

Şekil 3.1: EPH ölçüm gonyometresi (yandan görünüm)	63
Şekil 3.2: EPH ölçüm gonyometresi (üstten görünüm)	63
Şekil 3.3: <i>Baseline Pneumatic Bulb Dynamometer®</i>	64
Şekil 3.4: Kavrama hassasiyeti değerlendirme	64
Şekil 3.5: <i>Stabilizer Pressure Biofeedback®</i> aleti	65
Şekil 3.6: El basınç hassasiyeti değerlendirme	65
Şekil 3.7 Semmes Weinstein monofilament seti	66
Şekil 3.8 Duyu eşığı değerlendirme	66
Şekil 3.9: İki Nokta Ayırımı aleti	67
Şekil 3.10: İki Nokta Ayırımı testi	67
Şekil 3.11: Diyapazon	68
Şekil 3.12: El bileğine vibrasyon uygulaması	68
Şekil 3.13: Fleksiyonda germe	69
Şekil 3.14: Ekstansiyonda germe	69
Şekil 3.15: Radial deviasyonda germe	69
Şekil 3.16: Ulnar deviasyonda germe	69
Şekil 3.17: El halteri ile fleksiyon EHA egzersizi	69
Şekil 3.18: El halteri ile ekstansiyon EHA egzersizi	69
Şekil 3.19: El halteri ile radial deviasyon EHA egzersizi	69
Şekil 3.20: El halteri ile Ulnar deviasyon EHA egzersizi	69
Şekil 3.21: Fleksiyonda aktif germe	70
Şekil 3.22: Ekstansiyonda aktif germe	70
Şekil 3.23: Ulnar deviasyonda aktif germe	70
Şekil 3.24: Ulnar deviasyonda aktif germe	70
Şekil 3.25: Önkol fleksör grup germe	71
Şekil 3.26: Önkol ekstansör grup germe	71
Şekil 3.27: Fleksörlere izometrik egzersiz	71
Şekil 3.28: Ekstansörlere izometrik egzersiz	71
Şekil 3.29: Radial deviatörlere izometrik egzersiz	71
Şekil 3.30: Ulnar deviasyon yaptıran kaslara izometrik egzersiz	72
Şekil 3.31: Yumruk kapalı ekstansörlere izometrik egzersiz	72
Şekil 3.32: Yumruk kapalı fleksörlere izometrik egzersiz	72

Şekil 3.33: M.Fleksör digitorum profundus'a izole izometrik egzersiz	72
Şekil 3.34: M.Fleksör dihtorum süperfisialis'e izole izometrik egzersiz	72
Şekil 3.35: Ritmik stabilizasyon	72
Şekil 3.36: Fleksör grup kaslara taping	72
Şekil 3.37: Ekstansör grup kaslara taping	72
Şekil 3.38: Aproksimasyon	73
Şekil 3.39: Yatayda aproksimasyon	73
Şekil 3.40: Zeminde aproksimasyon	73
Şekil 3.41: Duvarda aproksimasyon	73
Şekil 3.42: Dirsek ekstansiyonda aproksimasyon	73
Şekil 3.43: Dirsek fleksiyonda aproksimasyon	73
Şekil 3.44: Lateral perturbasyon	73
Şekil 3.45: İnferior perturbasyon	73
Şekil 3.46: Fleksiyon-ekstansiyon stabilizasyon	73
Şekil 3.47: Ulnar deviasyonda stabilizasyon	74
Şekil 3.48: Radial deviasyonda stabilizasyon	74
Şekil 3.49: Resiprokal stabilizasyon	74
Şekil 3.50: Bant ile fleksiyon egzersizi	74
Şekil 3.51: Bant ile ekstansiyon egzersizi	74
Şekil 3.52: Bant ile radial deviasyon egzersizi	74
Şekil 3.53: Bant ile ulnar deviasyon egzersizi	74
Şekil 3.54: El bileğine mobilizasyon	75
Şekil 3.55: Manuel traksiyon	75

TABLOLAR

Tablo 2.1: El bileğini kateden kasların kesitsel alanı	22
Tablo 2.2: El bileği ligamentlerinin yarı-niceliksel tahmini inervasyon dereceleri	57
Tablo 3.1: Çalışmadaki gruplar ve uygulamalar (özet tablo)	62
Tablo 3.2 : Semmes Weinstein monofilamentlerinin kalınlıklarına göre katsayıları	66
Tablo 4.1: Demografik özellikler	77
Tablo 4.2: Eklem pozisyon hissi değerlendirmesi	78
Tablo 4.3: Kavrama ve el basınç hassasiyeti değerlendirmesi	78
Tablo 4.4: Semmes Weinstein monofilamentleri ile duyu eşiği değerlendirmesi	79
Tablo 4.5: İki Nokta Ayırımı değerlendirmesi	79
Tablo 4.6 : Grupların uygulama öncesi ve sonrası eklem pozisyon hissi hata ortalamaları	81
Tablo 4.7: Kavrama ve el basınç hassasiyeti değerlendirmesi	83
Tablo 4.8: El basınç hassasiyetinde uygulama sonrası farklılığın kaynaklandığı grubun tespiti	84
Tablo 4.9: Duyu eşiği testi sonuçları ve gruplar arası farklar	86
Tablo 4.10: İki Nokta Ayırımı değerlendirmesi sonuçları ve gruplar arası farklar	88

1. GİRİŞ

Literatür bilgisini içeren arama motorlarından pubmed.com'da "proprioception" ve "rehabilitation" anahtar kelimeleri kullanılarak yapılan bir aramada 3999 adet yayın karşımıza çıkmakta iken bu aramaya "wrist" kelimesi eklendiğinde sonuç dramatik olarak 36'ya düşmektedir. Dahası, SVO ve hemipleji ile ilgili araştırmalar bu 36 yayının yarısından fazlasını oluşturmaktadır. Bu kısa aramanın sonucu bile literatürde el bileği proprioepsiyonu hakkında yapılan çalışmaların ne denli yetersiz olduğunu göstermektedir.

Latince "proprius" yani "kendine ait olan" ve "ception" yani "algılama" anlamına gelen kelimelerin birleşiminden meydana gelen proprioepsiyon terimi 1906'da ilk kez Sherrington tarafından kullanılmıştır (38, 101).

Beard ve arkadaşları (8) proprioepsiyonun henüz kabul edilmiş bir tanımının olmadığını, ama aşağıdaki üç komponenti içerdiğini bildirmiştir. Proprioepsiyonun günümüzdeki tanımında yer alan bu üç komponent şunlardır:

1. Eklem pozisyonunun statik farkındalığı
2. Kinestetik farkındalık (hareket hissi ve akselerasyon)
3. Refleks cevaplar ve kas tonusunun düzenlenmesi için gerekli

efferent aktivite

Proprioepsiyon; genel olarak eklem pozisyon hissini ve ekstremitelerin hareket algısını ölçerek değerlendirilir. Proprioepsiyonun bu komponentleri; düzgün ve koordineli hareketlerin oluşumu, normal vücut postürünün sağlanması, denge ve postüral kontrolün düzenlenmesi ve motor öğrenmenin devamı için önemlidir (38).

Proprioepsiyon alanındaki araştırmalar son bir kaç dekatta oldukça büyük bir ivme kazanmıştır. Proprioepsiyonun diz, ayak bileği, omuz, dirsek gibi eklemlerde, nadir olarak omurgada ve bu eklemlerin patolojilerindeki durumu çalışılmışsa da, el ve el bileğindeki durumu henüz netlik kazanmamıştır.

Literatürde el bileği proprioepsiyonu ve EPH çalışmalarının geçmişi 70'li yıllara kadar dayanmasına karşın yapılan bu çalışmalar son derece azdır (119). Cody ve ark. 1989'da fleksör karpi ulnaris kasının el bileği pasif hareketine ve tendonunun gerilmesine karşı verdiği yanıtları elektromyografik olarak incelemiştir. Kas içi reseptörlerin (muhtemelen kas içiği) tendon gerilmesine karşı hassas olduğunu tespit etmişler ve bu hassasiyetin lokal anesteziklerden ve iskemiden etkilenmediği sonucuna varmışlardır (21). Yine Cody ve ark. 1990'da yapmış olduğu başka bir çalışmada, ön kol fleksör kaslara uygulanan vibrasyonun, kasların EMG yanıtlarını değiştirdiğini saptamışlardır (22).

El bileği proprioepsiyonu ile ilgili mevcut çalışmalarda proprioepsiyon, sadece eklem pozisyon hissi ve kinestezi yönünden incelenmiş ve bu duyular, vibrasyon duyusu ya da el bileğindeki belli kasların EMG aktivitelerinin ölçülmesi yoluyla değerlendirilmeye çalışılmıştır (20, 21, 22, 33, 34, 102). Buna karşılık el ve el bileğinin hareket sırasındaki efor ve güç hissi veya hareket şiddetinin hassasiyeti, eldeki stereognosis gibi proprioepsiyon ile aynı spinal yolla taşınan taktil duyular göz önünde bulundurulmamıştır. Halbuki el ve el bileğinin motor ve duysal homonkulustaki projeksiyonları düşünüldüğünde diğer eklemlerden daha fazla proprioseptif duyu hassasiyeti olduğunu söylemek mümkündür. Ayrıca el bileği hem anatomik, hem de biyomekanik özellikleri nedeni ile çok karmaşık bir yapıya sahiptir. El bileği eklemi, el ve parmakların fonksiyonel hareketlerine de temel teşkil eder; parmaklar ve elin ince motor kontrolünü güçlendirmede esastır (82). El bileği ekleminin pozisyonu, parmakların maksimum düzeyde fleksiyon ve ekstansiyon yapabilme kabiliyetini ve kavrama yeteneğini etkiler. Sonuç olarak el bileği eklemi, el ve parmak hareketleri veya fonksiyonları ile çok yakın ilişkide olduğu için, birbirilerinden ayırt edilemez. El fonksiyonları sırasında el bileği eklemi anahtar eklem olarak kabul edilir.

Bu nedenle el bileği proprioepsiyonunun değerlendirildiği çalışmalarda, değerlendirmelerin daha detaylı olarak yapılması ve sonuçların el fonksiyonları ile ilişkilendirilmesi gerekir. Halbuki literatürde böyle bir detaylı

değerlendirme ve ilişkilendirmeyi gösteren hiçbir çalışma yoktur. Ayrıca, ilgili çalışmalarının hiçbirinde egzersiz gibi herhangi bir fizyoterapi-rehabilitasyon uygulaması sonrası el bileği proprioepsiyonunun gelişip gelişmediğini gösteren bir çalışmaya da rastlanmamıştır. Rehabilitasyonda en çok kullanılan yöntemlerden biri olan egzersizin, el bileği proprioepsiyonuna üzerine olan etkisi de henüz çalışılmamıştır. Egzersizin dışında diğer fizyoterapi-rehabilitasyon uygulamalarının el bileği proprioepsiyonu üzerine olan etkinliğini karşılaştırmalı olarak gösteren bir çalışma da yoktur.

El bileği proprioepsiyonunun egzersiz eğitimi veya diğer fizyoterapi uygulamalarıyla geliştirilip geliştirilemeyeceğini bilmek ve daha sonra da bunlardan en etkili olan uygulamayı karşılaştırmalı olarak belirlemek, fizyoterapistler ve diğer klinisyenler için oldukça önemlidir. Omuz ve diz gibi eklemlerin rehabilitasyon programında oldukça önemli bir yer tutan proprioseptif egzersizlerin, el bileği ile ilgili yaralanma veya problemlerin rehabilitasyonunda yer almaması veya atlanması, klinik açıdan önemli bir eksikliklerdir. Bu nedenle el bileği proprioepsiyonunun detaylı olarak ölçülmesi ve el fonksiyonları ile ilişkilendirilmesi, el ve el bileği rehabilitasyonuna farklı bir görüş açısı kazandıracaktır. Ayrıca el bileği proprioepsiyonunu ve el fonksiyonlarını arttırmaya yönelik fizyoterapi uygulamasının karşılaştırmalı olarak belirlenmesinin klinik önemi çok büyük olacaktır.

Bu tez çalışmasının amacı, el bileği proprioepsiyonunu değerlendirmek ve bunu el fonksiyonları ile ilişkilendirmek ve farklı fizyoterapi uygulamalarının karşılaştırmalı olarak proprioepsiyon üzerine olan etkinliğini belirlemektir.

h_1 : El bileği proprioepsiyonu vibrasyon, egzersiz ve proprioseptif egzersizler ile gelişir.

h_2 : El bileği proprioepsiyonunu geliştirmede proprioseptif eğitim, vibrasyon ve egzersiz uygulamasına göre daha etkin bir yöntemdir.

2.GENEL BİLGİLER

2.1 El Bileğinin Anatomi ve Kinezyolojisi

El bileği eklemi, ön kolun distal ucu ve elin proksimal ucu arasında yer alan eşsiz bir eklemdir. Üst ekstremitenin mekanik etkinliğini en üst düzeyde artıracak fonksiyon ve şekilde birleşen, her üç bölge ile de ortak veya paylaşılmış elemanları vardır. El bileği, elin ön kola göre sınırsız sayıda pozisyonda hareket etmesine olanak verir ve aynı zamanda bu pozisyonlarda güçlü ön kol kasları tarafından oluşturulan güçlerin transfer edilmesi için elin ön kola sabitlenmesine imkân tanır.

El bileği sağlam ve fonksiyonel olduğunda gerçek bir mekanik mucizedir; el bileğinin mekanik bütünlüğünün bozulması kaçınılmaz şekilde elin ve üst ekstremitenin önemli derecede disfonksiyonuna neden olur. El bileğinin doğru bir şekilde anlaşılması tanı, tedavi ve rehabilitasyon açısından büyük önem taşır ve el bileği tedavisi ile ilgilenenler için gereklidir (71).

2.1.1 Kemik Anatomi

El bileğinde sekiz adet karpal kemik bulunmaktadır; ancak pisiform kemiği çoğunlukla fleksor carpi ulnaris (FCU) içerisinde yer alan bir sesamoid kemik olarak değerlendirilir ve bu nedenle gerçek bir karpal kemik kabul edilmez. Karpal kemikler proksimal ve distal sıra olarak her bir sırada dört adet olmak üzere iki sıra halinde dizilmişlerdir. Sekiz kemiğin hepsi, ön kol kemikleri ve metakarpaller arasında el bileği eklemi kompleksini oluşturacak şekilde yerleşmişlerdir (16, 116) (Şekil 2.1).

Distal radius ve ulna

Radiusun distal yüzeyi, sagittal düzlemde yerleşmiş ve interfossal sırt denen fibrokartilajinöz bir çıkıntı ile ayrılan iki artiküler fossa aracılığı ile, proksimal karpal kemiklerle eklem yapar. Skafoid fossa düzensiz bir üçgen şeklindedir ve interfossal sırttan radial stiloid çıkıntısının ucuna kadar uzanır. Lunat fossa düzensiz bir dörtgen şeklindedir ve interfossal ridge'den sigmoid

çentiğe kadar uzanır. Distal radiusun dorsal korteksinde hemen interfossal ridge'in dorsal ve proksimalinde, "radiusun dorsal tüberkülü" veya "Lister'in tüberkülü" denen bir çıkıntı bulunur. Bu tüberkül, ikinci ve üçüncü ekstansör kompartmanlar arasında bir ayırıcı olarak görev yapar ve ekstansör pollisis longus kası için fonksiyonel bir makara gibi çalışır (39).

Normal şartlar altında ulna, el bileği kemikleri ile doğrudan eklem yapmaz. Onun yerine "triangüler disk" veya "triangular fibrokartilaj" denen fibrokartilaginöz bir yapı, ulna başı ve proksimal karpal sıra ile ilişkidir. Ulnar stiloid çıkıntı bile ulnotriquetral (UT) ligament nedeniyle karpal kemikler ile temas etmez. Ulna başı, posterior sınırında "ulnar stiloid proçes" denen distal bir çıkıntı olan düzensiz bir silindir şeklindedir. Ulna başının yaklaşık dörtte üçü eklem kıkırdağı ile kaplıdır; ulnar stiloid proçes ve posterior dörtte birlik kısım ise kemik veya periost ile temastadır. Ulnar stiloid çıkıntı tabanında "fovea" denen bir çöküntü, tipik olarak eklem kıkırdağı ile kaplı değildir (116).

Proksimal karpal sıra kemikleri

Proksimal sıra radialden ulnar tarafa doğru skafoid (naviküler), lunat, triquetrum ve pisiform kemiklerinden oluşur. Skafoid kemik, fasülye veya böbrek şeklindedir. Skafoid kemik, proksimal uç, orta kısım ve distal uç olmak üzere üç bölgeye ayrılmıştır. Proksimal uç, skafoid fossa ile temas eden bir konveks eklem yüzeyi ve lunat kemiği ile temas eden bir düz eklem yüzeyine sahiptir. Orta kısmın dorsal yüzeyinde dorsal eklem kapsülü için bir tutunma yüzeyi olarak görev yapan oblik bir ridge dikkati çeker. Orta kısmın medial yüzeyi ve proksimal ucun distal yüzeyi konkavdır ve os kapitatum ile eklem yapar. Distal uç aynı zamanda medialde de os kapitatum ile eklem yapar. Distalde trapezium ve trapezoideum kemikleri ile eklenir. Diğer taraftan distal uç neredeyse tamamen ligamentler ile çevrilidir (71).

Lunat kemiği sagittal düzlemde hilal şeklindedir. Proksimal yüzeyi konveks, distal yüzeyi konkavdır ve transvers planda kama şeklindedir. Dorsal ve palmar yüzeylerdeki ligament tutunma yerleri dışında lunat kemiği eklem kıkırdağı ile kaplıdır. Lateralde skafoid ile, proksimalde radius ve

triangüler fibrokartilaj ile, medialde triquetrum ile ve distalde kapitat ile eklem yapar. Bazı bireylerde, lunatın hamat ile eklem için belirgin bir sırt ile kapitat ekleminden ayrılan ekstra bir fossası bulunur (71, 82).



Şekil 2.1: Karpal kemikler

Triquetrum kompleks bir şekle sahiptir; pisiform ile eklem için palmar yüzeyde düz bir eklem yüzeyi, hamat ile eklem için konkav distal eklem yüzeyi, lunat ile eklem için düz lateral bir eklem yüzeyi ve proksimal, medial ve dorsal yüzlerde üç adet tüberkülü bulunur. Proksimal tüberkül triangüler disk ile temas için kıkırdak ile çevrili iken medial ve dorsal tüberküller ligament tutunma yeri olarak görev yapar.

“Bezelye şeklinde” anlamına gelen pisiform, triquetrum ile eklem için dorsal yüzü distal yarısını çevreleyen düz bir artiküler faset ile birlikte profilde oval şekildedir. Diğer taraftan, FCU'nun tendonu ile tamamen kaplanmıştır ve fleksör digiti minimi kası için bir proksimal orijin görevi görür.

Distal karpal sıra kemikleri

Distal karpal sıra radialden ulnara doğru, trapezium, trapezoid, kapitat ve hamat'tan oluşur. Trapezium'un (büyük çokgen) üç adet eklem yüzeyi bulunur. Proksimal yüzeyi hafif konkavdır ve skafoidin distal ucu ile eklem

yapar. Medial artiküler yüzeyi düzdür ve trapezoid ile eklem yapar. Distal yüzeyi eyer şeklindedir ve ilk metakarpalin tabanı ile eklem yapar. Diğer yüzeyler nonartikülerdir ve ligamentler için tutunma yüzeyi oluşturur. Trapeziumun anterolateral kenarı, fleksör karpı radialis (FCR) tendonu için fibro-osseöz tünelin bir kısmını oluşturan bir çıkıntı meydana getirir (16, 39).

Trapezoid (küçük çokgen), sırası ile skafoïd, trapezium, kapitatum, ikinci metakarpalin tabanı ile eklem yapan proksimal, lateral, medial ve distal yüzlerde eklem yüzeyleri içeren küçük bir kemiktir. Palmar ve dorsal yüzeyleri ligamentler için insersiyö alanı olarak görev yapar (42, 71).

Kapitatum, en büyük karpal kemiktir ve baş, boyun ve gövde kısımları bulunur. Başın neredeyse tamamı eklem kırırdağı ile kaplıdır; skafoïd ve lunat ile eklem için konveks bir eklem yüzeyi oluşturur. Boyun, baş ve gövde arasındaki daralmış kısımdır ve ligament olmadan midkarpal eklem ile temastadır. Gövde küboid şeklindedir; medial, lateral ve distal kısımlarda sırası ile trapezoid, hamat ve üçüncü metakarpalin tabanı ile eklem yapan yüzeyler bulunur. Geniş düz palmar ve dorsal yüzeyleri ligament tutunma alanı olarak görev yapar.

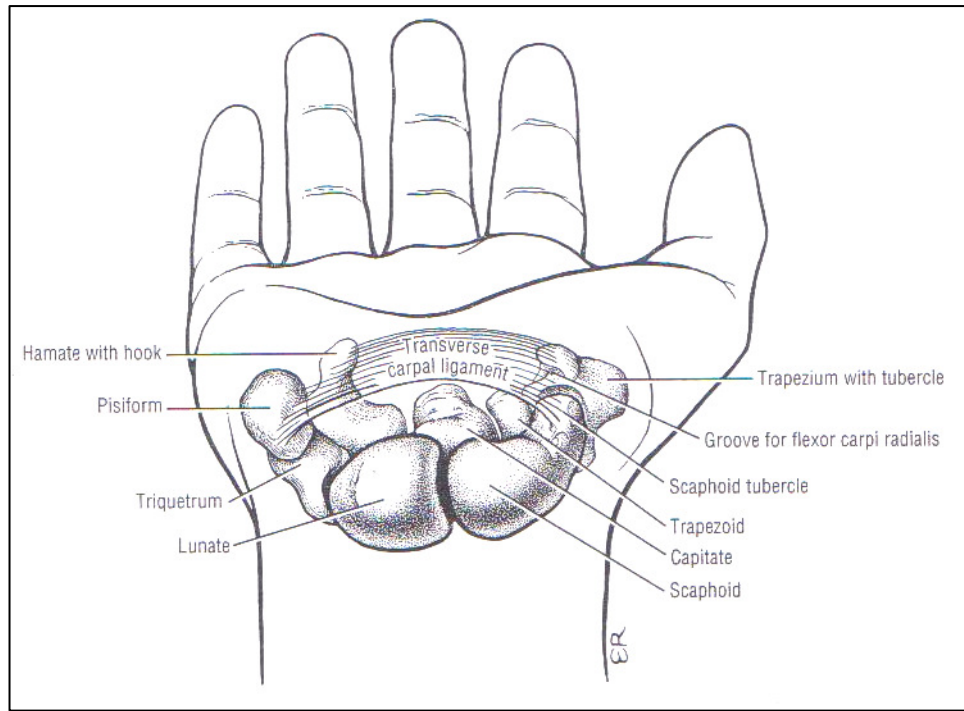
Hamatus, kompleks bir geometriye sahiptir; uç, gövde ve hamulus (kanca) kısımları bulunur. Uç kısmı, konik şeklindedir; triquetrum, kapitatum ve lunatum ile eklem yapmak için neredeyse tamamen eklem kırırdağı ile kaplıdır. Gövde kuboiddir; sırası ile kapitatum ve dördüncü ve beşinci metakarpaller ile eklem yapan medial ve distal yüzeyleri bulunur. Dorsal ve palmar yüzeyleri ligament tutunma alanı oluşturur; en medial kısım hariç, buradan da hamulus çıkar. Hamulus, palmar bir projeksiyon oluşturur ve aynı zamanda ligamentlerin tutunması için bir alan meydana getirir (71, 116).

Karpal Tünel

Karpal kemiklerin palmar yüzeyleri bir konkavite meydana getirirler. Transvers karpal ligament olarak bilinen ve ince fibröz bir bant şeklinde olan bağ dokusu bu konkavitenin üzerini sarar. Bu bağ, palmar korpus üzerinde ulnar tarafta pisiform ve hamatın kancası ve radial tarafta skafoïd ve trapeziumun tüberkülü olmak üzere dört noktaya bağlıdır. Transvers karpal

ligament elde lokalize pek çok kas ve bir el bileği fleksörü olan palmaris longusun primer yapışma yeri olarak görev görür (82) (Şekil 2.2).

Transvers karpal ligament karpal kemikler tarafından oluşturulan konkaviteyi bir "karpal tünel"e dönüştürür. Tünel, median sinir ve dış parmak fleksör kasları için bir geçit görevi görür.



Şekil 2.2: Karpal tünel

2.1.2 Artroloji

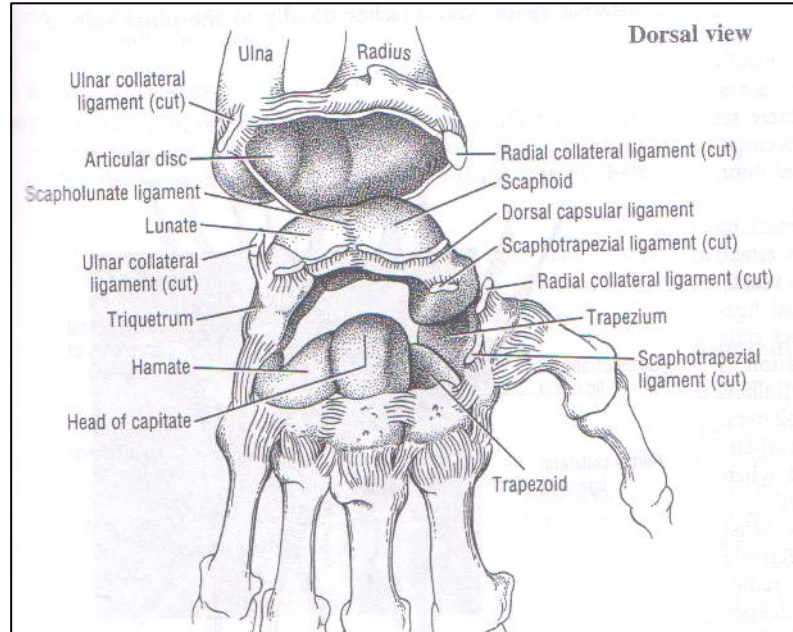
El Bileğinin Eklem Yapısı ve Ligamentleri

Sekiz adet karpal kemikten oluşan el bileği, fonksiyonel olarak toplamda 15 kemikten meydana gelir. Bunun nedeni radius ve ulna ile olan proksimal eklemler ve bir ve beşinci metakarpallerle olan distal eklemlerdir.

El bileğinin primer eklemleri radiokarpal eklem ve midkarpal eklemdir. Komşu karpal kemikler arasında daha az önemli eklemler de bulunmaktadır. İnterkarpal eklemler küçük kayma hareketleri ile el bileği hareketine katkıda bulunurlar. Radiokarpal ve midkarpal eklemlerde izin verilen geniş hareket açıklığı ile karşılaştırıldığında interkarpal eklemlerdeki hareket rölatif olarak küçüktür. Yine de el bileği hareketinin tamamlanması için önemlidir (71).

Radiokarpal Eklem

Radiokarpal eklemin proksimal komponentleri, radiusun konkav yüzeyi ve komşu eklem diskidir. Eklem distal komponentleri ise skafoid ve lunatin proksimal konveks yüzeyleridir (Şekil2.3). Aynı zamanda triquetrum da radiokarpal eklemin parçası kabul edilir; çünkü tam ulnar deviasyonda medial yüzeyi eklem diski ile temas eder (82).



Şekil 2.3: Radiokarpal eklem

Distal radiusun kalın eklem yüzeyi ve eklem diski ön koldan el kemiklerine uzanan güçleri kabul eder ve dağıtır. El bileğinden geçen toplam kompresyon güçlerinin yaklaşık olarak %20'si diskten geçer. Kalan %80'i direkt olarak skafoid ve lunattan radiusa geçer. El bileği ekstansiyon ve ulnar deviasyonda olduğunda radiokarpal eklemdaki temas alanları en fazla olma eğilimindedir. Bu pozisyon maksimal kavrama kuvvetinin sağlandığı el bileği pozisyonudur (82).

Midkarpal Eklem

Midkarpal eklem, proksimal ve distal sıra karpal kemikler arasındaki eklemdir. Midkarpal eklemi çevreleyen kapsül, her bir interkarpal eklem ile devamlıdır.

Midkarpal eklem medial ve lateral eklem kompartmanlarına ayrılabilir. Daha geniş olan medial kompartman, kapitatumun konveks başı ve hamatumun apeksi tarafından oluşturulur; skafoïd, lunat ve triquetrumun distal yüzeyleri tarafından oluşturulan konkav girintiye oturur. Kapitatumun başı bir küresel eklem gibi bu konkav girintiye uyar.

Midkarpal eklem lateral kompartmanı skafoïdin hafif konveks distal ucu ile trapezium ve trapezoidin hafif konkav proksimal yüzeyleri arasındaki eklem tarafından oluşturulur. Lateral kompartman, medial kompartmanın belirgin ovoid şeklinden yoksundur. El bileğinin sineradyografisi lateral kompartmanda mediale göre daha az hareket olduğunu göstermiştir. Bu nedenle, midkarpal eklem takip eden artrokinematik analizi medial kompartman üzerine odaklanır (39, 82).

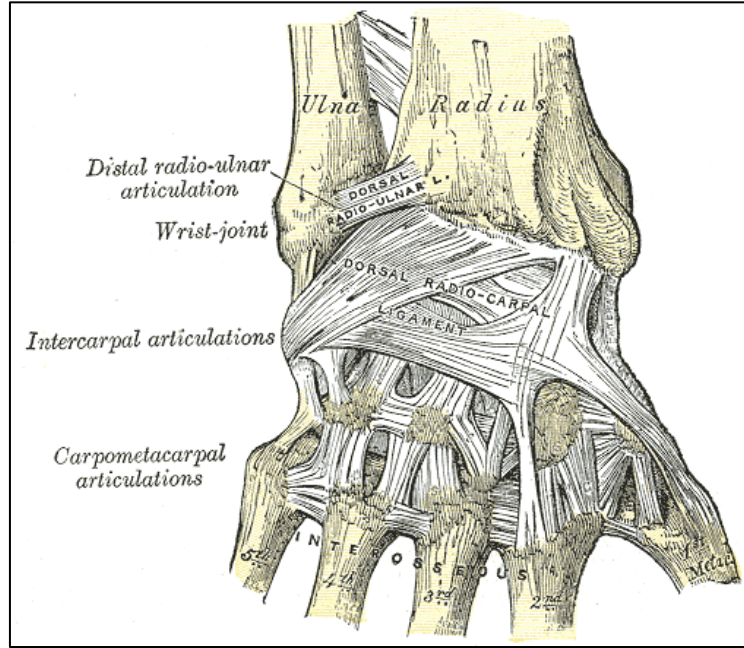
2.1.3 El Bileği Ligamentleri

El bileği ligamentlerinin çoğu küçüktür ve izole etmesi zordur. Bununla birlikte göze çarpmayan doğaları kinezyolojik önemlerini gösterir. El bileği ligamentleri doğal interkarpal sıranın korunmasında ve gücün el kemikleri aracılığı ile veya üzerinden transferinde gereklidir. Kaslar aktif el bileği hareketi için güç; ligamentler ise kontrol ve artrokinematiğe rehberlik sağlar. Hastalık veya yaralanma nedeni ile hasarlanan ligamentler el bileğinin deformasyon ve instabilitesine yatkınlık yaratır (16).

El bileği ligamentleri ekstrensek veya intrensek olarak sınıflandırılır. Ekstrensek ligamentlerin proksimal bağlanma yerleri karpal kemiklerin dışındadır; fakat distalde karpal kemiklere tutunurlar. Tersine, intrensek ligamentlerin hem proksimal, hem de distal bağlantı noktaları karpal kemikler üzerindedir.

Ekstrenek Ligamentler

El bileğinin eksternal yüzü ve distal radioulnar eklemi fibröz bir kapsül çevreler. Kapsülün dorsal yüzünde radiokarpal ligamentler olarak bilinen ligamentöz bandı oluşturmak üzere hafifçe kalınlaşır. Ligamentler incedir ve kapsülün kendisinden ayırt edilmeleri zordur (Şekil 2.4).



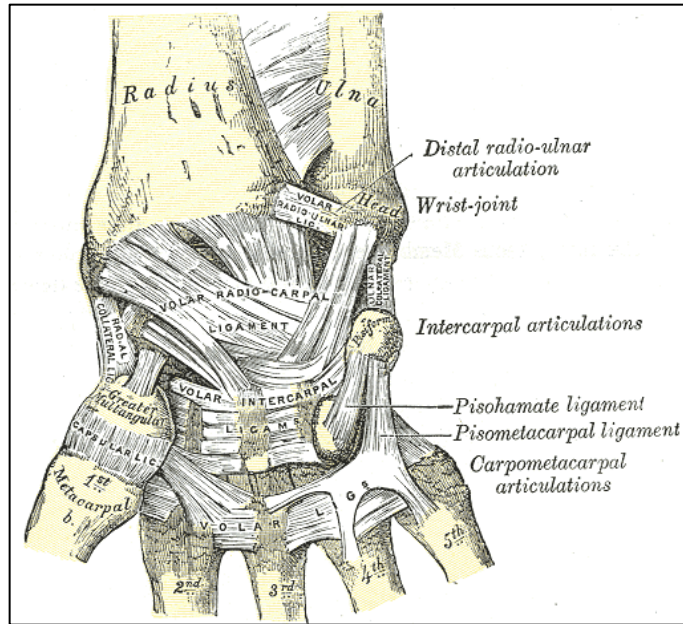
Şekil 2.4: El bileği ligamentleri (dorsal görünüm)

Genelde distal radiokarpal ligamentler ulnar yönde distale, distal radiustan skafoid ve lunatumun dorsal yüzlerine doğru ilerler. Ayrı geniş bir lif demeti triquetruma uzanır. Dorsal radiokarpal ligamentler tam ekstansiyonda gergin hale gelerek radiokarpal eklemin posterior kısmını destekler (68, 115).

El bileği kapsülünün lateral parçası radial kollateral ligament adı verilen lifler tarafından güçlendirilmiştir. Bu lifler proksimalde stiloid çıkıntıya; distalde skafoid tüberkül, trapezium ve komşu transvers karpal ligamente tutunur. Bu ligament el bileği stabilitesinin yalnızca bir parçasını sağlar. Major kısmı, abduktor pollicis longus ve ekstensör pollicis brevis gibi ekstrenek kaslar tarafından sağlanır. Radial kollateral ligament, palmar lateralde dorsal laterale göre daha gelişmiştir. Bu nedenle, bu lifler el bileğinin ulnar deviasyonu ekstansiyon ile kombine olduğunda maksimum derecede gergin hale gelirler (41, 82).

El bileğinin palmar kapsülünden ayrı olarak derinde, topluca “palmar radiokarpal ligamentler” olarak bilinen pek çok dayanıklı ve geniş ligamentler bulunur. Bunlar radiokapitat ligament, radioulnar ligament ve daha derin bir planda olan radiokapolunat ligament’dir. Her ligament distal radiusta pürüzlü birer yüzeyden başlar; ulnar yönde distale doğru ilerler ve karpal kemiklerin palmar yüzeylerinde sonlanır (120) (Şekil 2.5).

Palmar radiokarpal ligamentler dorsal radiokarpal ligamentlerden daha kalın ve daha güçlüdür. El bileğinin gevşek nötral pozisyonunda bile bu ligamentlerde belirgin gerilim mevcuttur. Genelde palmar radiokarpal ligamentler, el bileği ekstansiyonunda maksimal olarak gergin hale gelirler (16, 41).

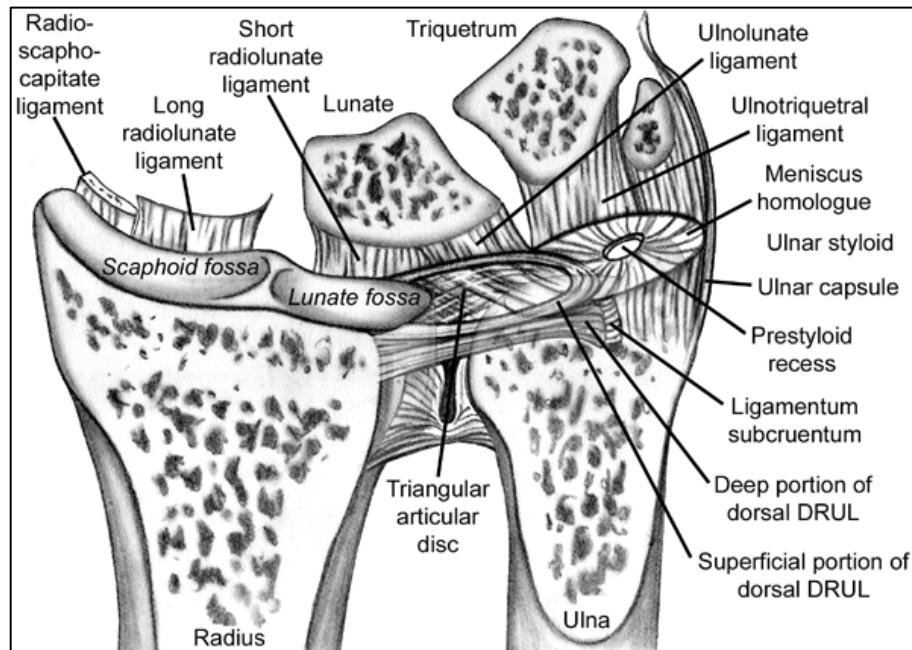


Şekil 2.5: El bileği ligamentleri (volar görünüm)

El bileğinin ulnar sınırı yakınında “ulnokarpal kompleks” olarak bilinen kompleks bir bağ dokusu demeti bulunur. Bu bağ dokusu grubu genelde “triangüler fibrokartilaj kompleks (TFCC)” olarak ifade edilir (Şekil 2.6). Ulnokarpal kompleks; eklem diski, ulnar kollateral ligament ve palmar ulnokarpal ligamenti içerir. Bu kompleks doku demeti distal ulna ve karpal kemikler arasındaki “ulnokarpal boşluk”un çoğunu doldurur. Ulnokarpal

boşluk, karpal kemiklere ulnanın distal ucuyla karşılaşmadan radius ile birlikte pronasyon ve supinasyon yapma olanağı verir (39, 82).

Ulnokarpal kompleksin temel elemanı olan eklem diski, radiusun ulnar çentiğinden ulnanın stiloid çıkıntısının yakınına kadar tutunur. Disk, hem radioulnar eklem, hem de radiokarpal eklemin önemli bir yapısal komponentidir. Diskin meniskal ekstansiyonuna genelde, el kemiklerini triquetruma bağlarken işlevini kaybetmiş fonksiyonunu işaret edecek şekilde, “ulnokarpal meniskal homolog” adı verilir. Diskin meniskal ekstansiyonu ve ulnar kollateral ligament arasında küçük sinovial sıvı ile dolu olan bir boşluk şeklinde olan “prestiloid recess” bulunur. Romatoid artritte bu boşluk gergin ve ağrılı hale gelir. Eklem diskindeki yırtılmalar, sinovial sıvının radiokarpal eklemden distal radioulnar ekleme yayılmasına izin verir (18).



Şekil 2.6: Triangular fibrokartilaj

Ulnar kollateral ligament, el bileği kapsülünün ulnar kısmının kalınlaşması sonucu meydana gelir. Ligament ulnanın stiloid çıkıntısından orijin alır; ulnokarpal boşluğu geçer ve triquetrumun ulnar kısmına distalden, beşinci metakarpalin tabanına olabildiğince distalden tutunur. El bileğinin tam radial deviasyonu, ulnar kollateral ligament ve çevreleyen kapsülün

uzamasına neden olur. Ekstansör karpi ulnaris kası el bileğinin ulnar kenarını güçlendirmede ulnar kollateral ligamente yardımcı olur (16, 41).

Palmar ulnokarpal ligament, eklem diskinin anterior sınırından köken alan bağ dokusunun kalınlaşmış bandıdır. Ligament lunat ve daha az derecede triquetrumun palmar yüzeylerine distalden tutunur. Tam el bileği ekstansiyonu ve tam ulnar deviasyonda gergin hale gelir (82).

İntrensek Ligamentler

El bileğinin intrinsek ligamentleri kısa, orta ve uzun olarak sınıflandırılır. El bileğindeki kısa ligamentler palmar, dorsal ve interosseal yüzeyler ile kemikleri distal karpal kemiklere bağlarlar. Kısa ligamentler, tek bir mekanik ünite gibi fonksiyon görmelerine izin verecek şekilde distal ve proksimal karpal kemikleri birleştirir ve stabilize eder. Üç orta ligament el bileği içerisinde bulunur. Lunotriquetral ligament, palmar radioulnar ligamentin fibröz devamıdır. Skafolunat ligament, skafoid ve lunatı birbirine bağlayan geniş bir lif demetidir. Skafotrapezial ligamentler, skafoid ve trapezium arasındaki eklemi güçlendirirler (40, 41).

El bileğinde iki adet rölatif olarak uzun ligament bulunur: Palmar ve dorsal interkarpal ligamentler. Palmar interkarpal ligament, kapitatumun palmar yüzeyine sıkıca tutunmuştur. Ligament ters V harfi oluşturacak şekilde proksimalde iki lif grubuna ayrılır. Ters V'nin lateral bacağı kapitatumdan skafoide uzanan lifler tarafından, medial bacağı kapitatum ve triquetrum arasındaki lifler tarafından oluşturulur. İnce bir ligament olan dorsal interkarpal ligament, skafoid ve triquetrumu bağlayarak el bileğine transvers yönde stabilite sağlar (82).

2.1.4 El Bileği Hareketinin Kinematığı

Osteokinematik

El bileğinin osteokinematığı iki yönde hareket ile sınırlıdır: fleksiyon ve ekstansiyon ile ulnar ve radial deviasyon. El bileği sirkumdüksiyonu ise, el

bileği tarafından yapılan tam bir dairesel hareket olmayıp adı geçen hareketlerin bir kombinasyonudur.

Minimal pasif aksesuar hareketler dışında el bileği, radius boyunca longitudinal bir aksis etrafında rotasyon yapmaz. Hareket, radiokarpal eklemin kemik çıkıntısı ve radiokarpal ligamentin lifleri tarafından bloke edilir. Elin aksiyel rotasyonu -pronasyon ve supinasyon- ön kolun proksimal ve distal radioulnar eklemlerinde meydana gelir. Ön kol hareketleri, elin ayrı olarak değil radius ile birlikte hareket etmesini gerektirir. Radiokarpal eklemden üçüncü bir hareketin eksikliği, çalışan elde pronator ve supinator kasların dönme momentlerini el bileği boyunca transfer etmesine izin verir.

El bileği sagittal planda yaklaşık 130'dan 140 dereceye kadar rotasyon yapar. Ortalama olarak el bileği 0°den 65°-80°ye kadar fleksiyon, 0°den 55°-70°ye kadar ekstansiyon hareketi yapar. El bileğinin hareket açıklığı -aktif veya pasif hareket- diğer diartrodial eklemler gibi yaş ve sağlık durumu ile değişir. Normalde tam fleksiyon, ekstansiyon hareket açıklığını 10-15°ye kadar artırır. Ekstansiyonun son sınırı palmar radiokarpal ligamentteki kalınlaşma ile sınırlanabilir. Bazı kişilerde de distal radiusun ortalamadan fazla palmar eğimi, ekstansiyon açıklığını sınırlayabilir.

El bileği frontal düzlemde yaklaşık 45°-55°lik rotasyon yapar. Radial ve ulnar deviasyon, radius ve üçüncü metakarpalin shaftı arasındaki açı ile ölçülür. El bileğinin ulnar deviasyonu 0°den yaklaşık 30°ye kadar, radial deviasyonu 0°den yaklaşık 15°ye kadar olur. Distal radiusun ulnar eğimi nedeni ile maksimum ulnar deviasyon radial deviasyonun iki katıdır.

El bileğinin çoğu doğal hareketi frontal ve sagittal plan hareketlerinin kombinasyonu ile olur. El bileğinde en büyük devamlı hareket arkı, tam ekstansiyon/radial deviasyon ile tam fleksiyon/ulnar deviasyon arasında olur (39, 71, 82).

Artrokinematik

Röntgen, anatomik diseksiyon, kemiklere pim yerleştirme, üç boyutlu bilgisayarlı tomografi, sonik görüntüleme, sineradyografi, stereofotografi,

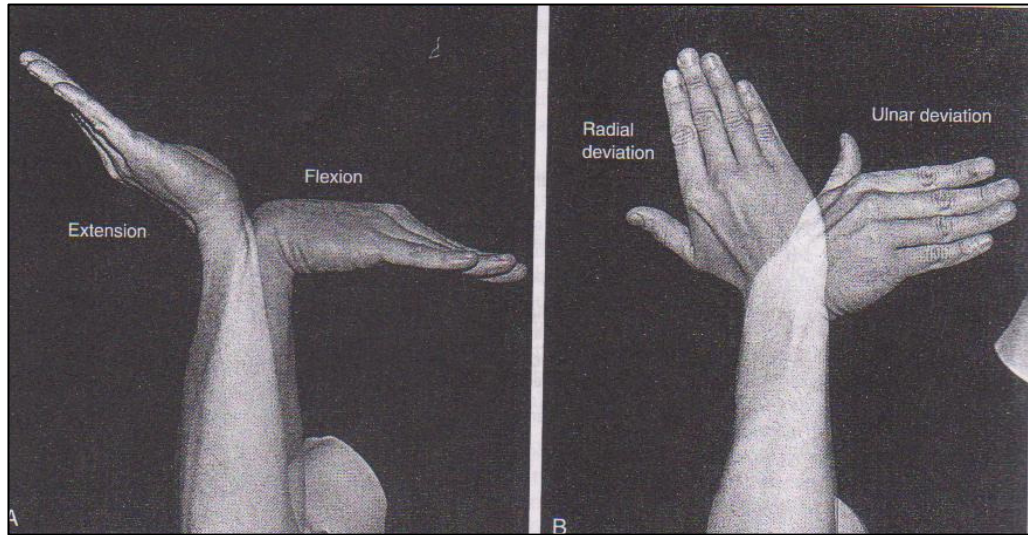
optoelektrik sistemler ve manyetik izleme cihazları gibi pek çok çalışmaya rağmen el bileğinin artrokinematığı ile ilgili bilgiler hala yetersizdir.

El bileğinin rotasyon aksisinin kapitatumun başı boyunca geçtiği varsayılır. Aksis fleksiyon ve ekstansiyon için medial-lateral yönde, radial ve ulnar deviasyon için anterior-posterior yönde ilerler. Aksisler sabit olarak gösterilse de, gerçekte tam hareket açıklığı boyunca hafifçe hareket eder. Kapitat ve üçüncü metakarpal kemiğin tabanı arasındaki sağlam eklem, elin tüm osteokinematiklerini yönlendirmek için kapitatumun rotasyonuna yol açar.

El bileği hareketi, eş zamanlı olarak hem radiokarpal, hem de midkarpal eklemlerde ortaya çıkan iki eklemlili bir sistemdir (82).

El bileği Ekstansiyon ve Fleksiyonu

El bileğinin toplam sagittal düzlem hareketine, radiokarpal ve midkarpal eklemlerin açısal katkısını tanımlamak için çeşitli modeller geliştirilmeye çalışılmıştır. Sagittal düzlemin olmazsa olmaz kinematığı, el bileğinin merkezi kolunu içinde ortaya çıkan hareketleri içerir (Şekil 2.7) (örneğin radius, lunatum, kapitatum ve üçüncü metakarpal arasında oluşan eklemler gibi).



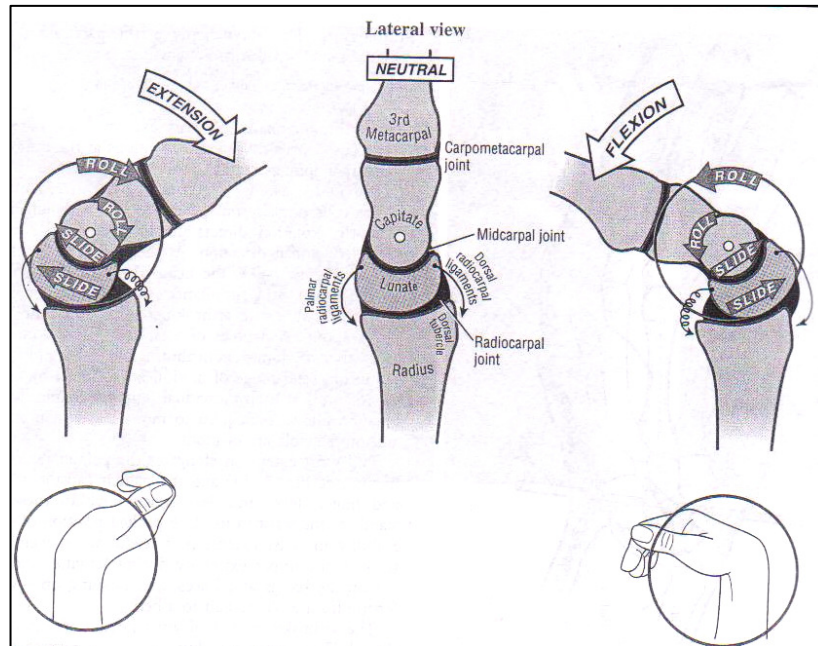
Şekil 2.7: El bileği eklemindeki hareketler

Bu kolon içinde radiokarpal eklem, radius ve lunatum arasında olan eklem ile temsil edilir. Midkarpal eklemin medial kompartmanı, lunatum ve

kapitatum arasındaki eklemden oluşur. Karpometarpal eklem kapitatum ve üçüncü metakarpalin tabanı arasında rijit bir eklemden meydana gelir. El bileğinin bu mekanik tanımı oldukça kompleks olan artrolojinin en basit yolla açıklamasıdır ve el bileği sagittal düzlem artrokinematiğinin pek çok önemli özelliğini gösterir (16, 82).

El Bileği Merkezi Kolon Eklemlerinin Dinamik Etkileşimi

El bileği ekstansiyonunun artrokinematiği radiokarpal ve midkarpal eklemlerdeki eş zamanlı konveks-konkav rotasyonlara dayanır. Radiokarpal eklemden ekstansiyon, lunatumun konveks yüzeyinin radius üzerinde dorsal olarak yuvarlanması ve eş zamanlı palmar olarak kayması ile meydana gelir (Şekil 2.8). Rotasyon hareketi, lunatumun distal yüzeyini dorsal yönde yönlendirir. Midkarpal eklemden kapitatumun başı lunatum üzerinde dorsal olarak yuvarlanır ve eş zamanlı palmar yönde kayar. Her iki eklemden artrokinematiklerin kombinasyonu, toplamda yaklaşık 60°'lik bir el bileği ekstansiyonu sağlar. İki eklemin bir harekete katılmasının avantajı, belirgin bir hareket açıklığının her bir bağımsız eklemden yalnızca hafif bir rotasyon ile üretilmesidir. Mekanik olarak bu kombinasyon, her ekleme daha kısıtlı ve daha stabil bir hareket aralığı içerisinde hareket etme olanağı verir.



Şekil 2.8: El bileği merkezi kolon eklemlerinin dinamik etkileşimi

Tam el bileği ekstansiyonu, palmar radiokarpal ligamentler, palmar kapsül, el bileği ve parmak fleksör kaslarını uzatır. Bu yapılardaki gerilme tam kapalı ekstansiyon pozisyonunda el bileğini stabilize eder. El bileği ekstansiyonundaki bu stabilite; eller ve dizler üzerinde emekleme, tekerlekli sandalyeden yatağa geçerken yukarı kalkma gibi aktiviteler sırasında ve ağırlığının üst ekstremité tarafından taşındığı durumlar için çok önemlidir (16, 82).

El bileği fleksiyonunun artrokinematiği, ekstansiyon için tanımlanan artrokinematiğe benzer; fakat ters bir şekilde oluşur. El bileği tam fleksiyonda iken fazla stabil değildir ve üst ekstremité boyunca ağırlık taşıyan güçleri karşılamada yetersizdir.

Merkezi kolon konseptini kullanarak el bileğinin fleksiyon ve ekstansiyonunu tanımlama, kompleks bir olayın mükemmel şekilde kavramsallaştırılmasına izin verir. Bununla birlikte modelin bir limitasyonu olarak, harekete katılan tüm karpal kemikler için açıklama getiremez. Bu model, radiokarpal eklemdé skafoid kemiğinin kinematiğini göz ardı eder.

Özet olarak, radius üzerinde skafoidin artrokinematiği, fleksiyon ve ekstansiyon sırasındaki lunatum ile bir özellik dışında benzerdir. İki kemiğinin farklı boyut ve şekilde olması nedeniyle, skafoid radius üzerinde lunatumdan farklı bir hızda yuvarlanır. Bu farklılık, hareketin sonunda skafoid ve lunatum arasında hafif bir yer değiştirmeye neden olur. Normalde sağlıklı bir el bileğinde yer değiştirmenin miktarı, ligamentlerin devreye girmesi ile (özellikle skafolunat ligament olmak üzere) minimale indirilir. Travmatik skafolunat dislokasyon, romatoid artrité bağılı kronik sinovit ve hatta ganglion kistininin cerrahi olarak çıkarılması ile bu ligamentte hasar oluşabilir. Yırtık bir skafolunat ligament, skafolunat eklem instabilitesi için yatkınlığa yol açabilir (39).

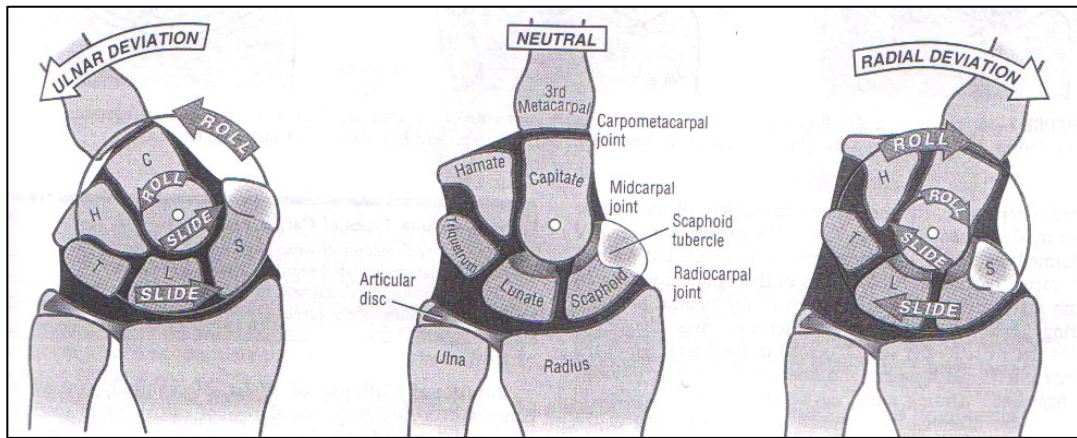
Radiokarpal ve Midkarpal Eklem Arasındaki Dinamik Etkileşim

Fleksiyon ve ekstansiyon gibi ulnar ve radial deviasyon da hem radiokarpal, hem de midkarpal eklemdé senkronize konveks üzerinde konkav

rotasyonla oluşur. Bununla birlikte ulnar ve radial deviasyonun artrokinematik fleksiyon ve ekstansiyondan daha komplikedir (Şekil 2.9).

Ulnar deviasyon sırasında radiokarpal ve midkarpal eklemler bütün el bileği hareketine tam olarak eşit katkıda bulunurlar. Radiokarpal eklemden skafoid, lunatum ve triquetrum ulnar yönde yuvarlanır ve radial olarak da önemli ölçüde kayar. Bu radial kaymanın derecesi, tam ulnar deviasyonda lunatın radiusa göre rölatif olarak daha sonraki pozisyonda olduğunun fark edilmesi ile belirgin hale gelir.

Midkarpal eklemden ulnar deviasyon, kapitatumun ulnar olarak yuvarlanması ve radial olarak hafifçe kayması ile oluşur. Ulnar deviasyonun tam hareketi, triquetrumun eklemin diski ile temas etmesine neden olur. Hamatumun triquetruma karşı kompresyonu, proksimal sıradaki karpal kemikleri radiusun stiloid çıkıntısına doğru radial yönde iter. Bu kompresyon, geniş kavrama güçleri gerektiren aktiviteler için el bileğini stabilize etmeye yardımcı olur.



Şekil 2.9: Radiokarpal ve Midkarpal Eklem Arasındaki Dinamik Etkileşim

El bileğinde radial deviasyon, ulnar deviasyonda tanımlanana benzer artrokinematikler ile meydana gelir. Radiokarpal eklemden radial deviasyonun miktarı, karpal kemiklerin radial tarafının radiusun stiloid çıkıntısına dayandığında sınırlanır. Bu nedenle el bileği radial deviasyonunun çoğu midkarpal eklemden oluşur. Tam radial deviasyonun sonunda hamatum ve triquetrum ayrılır (16, 82, 116).

El Bileğinin Ulnar ve Radial Deviasyonu

Radial ve Ulnar Deviasyon Sırasında “Çift V” Ligament Sisteminde Gerilim

El bileği hareketinin artrokinematiği aktif olarak kaslar tarafından sağlanır; fakat ligamentlerin pasif gerilme eylemi ile kontrol edilir. Ligamentlerin çift V sistemi ulnar ve radial deviasyon kontrolüne yardım ettiği tek yol gösterir. Nötral pozisyonda çift V sisteminin dört ligamenti, iki ters V gibi görünür. Distal ters V, palmar interkarpal ligamentin medial ve lateral bacaklarını temsil eder. Proksimal ters V, palmar ulnokarpal ve palmar radiokarpal ligamentlerin lifleri tarafından oluşturulur. Ligamentöz mekanizmanın her dört bacağı nötral pozisyonda bile hafif gerilim altındadır. Ulnar deviasyon sırasında pasif gerilim, el bileği boyunca el bileğinin palmar interkarpal ligamentin lateral bacağı ve palmar ulnokarpal ligament lifleri arasında esneme olması ile çaprazlama olarak ortaya çıkar. Radial deviasyon sırasında gerilim, ters çaprazda palmar interkarpal ligament ve palmar radiokarpal ligament liflerinde esneme olması ile yaratılır. Bu ligamentler arasında gerilimde kademeli bir artış karpal kemiklere dinamik stabilite kadar, harekete önemli bir kontrol olanağı sağlar.

Frontal Plan Hareketleri Sırasında Çift V Sistem Ligamentlerde Oluşan Gerilim

- Ulnar deviasyon sırasında, gerilim yükselir
 - Palmar interkarpal ligamentin lateral bacağı
 - Palmar ulnokarpal ligament
- Radial deviasyon sırasında, gerilim yükselir
 - Palmar interkarpal ligamentin medial bacağı
 - Palmar radiokarpal ligament

Çift V sistemi ligamentlerinin kollateral esnemesinden elde edilen gerilim, radial ve ulnar deviasyon hareketi açıklığının son derecelerinin sağlanmasına yardım eder. Pasif ulnar deviasyon, esnemiş radial kollateral ve palmar ulnokarpal ligamentlerdeki gerilim ile sınırlanır. Radial deviasyon,

tersine, esnemiş ulnar kollateral ve palmar radiokarpal ligamentlerde gerilim ile sınırlanır.

2.1.5 Kas ve Eklem Etkileşimi

Kasların Motor İnnervasyonu

El bileğinin dorsal yüzünden geçen bütün kasların innervasyonu, radial sinir tarafından sağlanır. El bileğinde görevli başlıca kaslar, ekstansör karpi radialis longus, ekstansör karpi radialis brevis ve ekstansör karpi ulnaristir. Median ve ulnar sinirler el bileğinin palmar yüzü boyunca geçen bütün kasları inerve ederler. Fleksör karpi radialis kası ve palmaris longus kası, median sinir; fleksör karpi ulnaris kası ulnar sinir tarafından inerve edilir (40, 116).

Eklemlerin Duyusal İnnervasyonu

Radiokarpal ve midkarpal eklemlerin duyusal lifleri C6-7 köklerinden median ve radial sinirler aracılığı ile taşınarak gelir. Midkarpal eklem aynı zamanda, C8 kökünden ulnar sinirin derin dalı aracılığı ile taşınan duyusal lifler alır (116, 118).

El Bileğindeki Kasların Fonksiyonları

Fleksör karpi ulnaris dışında ekstrensek kas tendonlarından hiçbiri direkt olarak karpal kemiklere tutunmaz. Çoğu kas, el bileğindeki fonksiyonunu matekarpal kemiklerin tabanları ve falanksların distal bölgelerine yapışarak gerçekleştirir (Şekil 2.10).

Tüm el bileği hareketlerinin rotasyon eksenini kapitatunun tabanında yerleşmiştir. Hiçbir el bileği kası, el bileğinin bu rotasyon eksenini boyunca direkt olarak anterior-posterior veya medial-lateral olarak geçmez. Bu nedenle bütün kaslar hem sagittal, hem de frontal düzlemde dönme momenti üretmek için çeşitli uzunluklarda moment kollarına sahiptir. Örneğin ekstansör karpi radialis brevis kası el bileğinin medial-lateral rotasyon eksenine dorsal olarak ve anterior-posterior rotasyon eksenine lateral olarak

El Bileği Ekstansörlerinin Fonksiyonu

Kas Anatomisi

Üç primer el bileği ekstansörü ekstansör karpi radialis longus kası, ekstansör karpi radialis brevis kası ve ekstansör karpi ulnaris kasıdır. Ekstansör digitorum kommunis kası, belirgin el bileği ekstansiyon bükülme momenti oluşturma gücündedir; fakat primer olarak parmak ekstansiyonunda görev alır. Diğer sekonder el bileği ekstansörleri ekstansör indisis kası, ekstansör digiti minimi kası ve ekstansör pollisis longus kasıdır (80, 116).

El Bileği Ekstansör Kasları

Primer	M.Ekstansör karpi radialis longus
	M.Ekstansör karpi radialis brevis
	M.Ekstansör karpi ulnaris
Sekonder	M.Ekstansör digitorum kommunis
	M.Ekstansör indisis
	M.Ekstansör digiti minimi
	M.Ekstansör pollisis longus

Primer el bileği ekstansörlerinin proksimal tutunma yerleri, humerusun lateral epikondili üzeri veya yakınında ve ulnanın dorsalindedir. Distalde ekstansör karpi radialis longus ve brevis ikinci ve üçüncü metakarpalin dorsal tabanlarına yan yana tutunurlar; ekstansör karpi ulnaris beşinci metakarpalin dorsal tabanına tutunur.

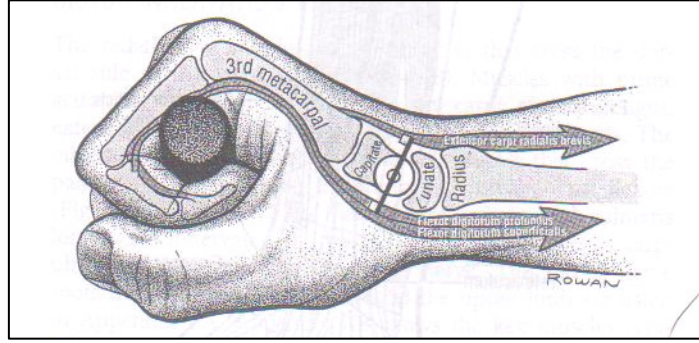
El bileğini dorsal ve dorsoradial taraftan çaprazlayan kasların tendonları, el bileği boyunca “ekstansör retinakulum” tarafından korunmaya alınmıştır. Ekstansör retinakulum, fleksör karpi ulnaris kası, pisiform kemik pisometakarpal ligamente palmar olarak tutunmak için ulnanın stiloid çıkıntısını sarar ve radiusun stiloid çıkıntısı ve radial kollateral ligamente tutunur. Ekstansör retinakulum ve el bileğinin dorsal yüzeyi arasında, tendonları sinovial kılıfları ile birlikte barındıran 6 adet fibro-osseöz tünel bulunur. Ekstansör retinakulum aktif ekstansiyon sırasında tendonların radiokarpal eklem tarafından sıkışmasını önler. Retinakulum ve ilgili

tendonlar aynı zamanda el bileğinin dorsal kısmını stabilize etmede dorsal kapsüler ligamente yardımcı olur (71, 82).

Yumruk Yapma Esnasında El Bileği Ekstansör Aktivitesi

El bileği ekstansörlerinin temel fonksiyonu, parmakları ilgilendiren aktiviteler için el bileğini stabilize etmek ve pozisyon vermektir. El bileği ekstansör kaslarının önemli rollerinden birisi, yumruk yapma esnasında ortaya çıkar. Ekstrensik parmak fleksör kasları (fleksör digitorum profundus ve süperfisialis kası), el bileğinin medial-lateral rotasyon ekseninde palmar olarak belirgin bir yol kat ederler ve primer parmak fleksörleri olarak kontraksiyonları, el bileğinde ekstansör kaslar tarafından dengelenmek zorunda olan belirgin bir fleksör dönme momenti meydana getirir. Bir nesneye güçlü bir kavrama uygulandığında el bileği ekstansörleri, el bileğini yaklaşık 35° ekstansiyon ve yaklaşık olarak 5° ulnar deviasyon pozisyonunda tutar. Bu pozisyon, ekstrensik parmak fleksörlerinin uzunluk-gerginlik ilişkisini dengeler ve böylece maksimal kavrama gücünü artırır (Şekil 2.11).

Yumruğun hafif kapanması sırasındaki en aktif el bileği ekstansörü, ekstansör karpi radialis brevis kasıdır. Kavrama gücü arttığında, ekstansör karpi radialis longus ve şekilde ekstansör karpi ulnaris kası, aktive olmuş ekstansör brevis kasına katılır. Tekrarlayan zorlu kavrama gerektiren aktiviteler, örneğin çekiç kullanmak veya tenis oynamak, el bileği ekstansörlerini, özellikle aktif olan ekstansör karpi radialis brevis kasını fazla çalıştırabilir. Lateral epikondilit veya "tenisçi dirseği" olarak bilinen durum, el bileği ekstansörlerinin proksimal tutunma yerlerinin tekrarlı stresi ve inflamasyonu sonucunda ortaya çıkar (40, 80, 82).



Şekil 2.11: Kavrama sırasında ekstansör mekanizma

Kavrama kuvveti, el bileği tam olarak fleksiyonda olduğunda belirgin olarak azalır. Azalmış kavrama kuvveti iki faktörün kombinasyonu sonucu ortaya çıkar. İlki ve en etkin olanı, parmak fleksörleri uygun gücü oluşturamazlar; çünkü uzunluk-gerilim eğrilerindeki en kısa uzunlukta fonksiyon görürler. İkincisi, aşırı gerilmiş parmak ekstansörleri, özellikle ekstansör digitorum communis kası, parmakta daha sonra etkili kavramayı azaltan bir pasif ekstansör bükme momenti oluşturur. Fizyolojik olayların bu kombinasyonu, el bileği ekstansörlerinde paralizi olan bir kişide parmak fleksörlerinin tamamen normal olmasına karşın etkin kavramadaki güçlüğü açıklar. El bileği ekstansörleri paralizi olduğunda, maksimal etkili kavrama oluşturmak için el bileği fleksiyonu ile birlikte parmaklarda fleksiyon ortaya çıkar. Daha fazla ekstansiyon ile el bileğinin stabilizasyonu, parmak fleksör kaslarının kavrama gücünün neredeyse üç katına çıkmasını sağlar. Manuel olarak veya ortezlenerek el bileğinin fleksiyonun önlenmesi, ekstrensik parmak fleksörlerini daha fazla güç ortaya çıkarmak için uzamış bir boyda tutar.

El Bileği Fleksör Kasları

Primer	M.Fleksör karpi radialis
	M.Fleksör karpi ulnaris
	M.Palmaris longus
Sekonder	M.Fleksör digitorum profundus
	M.Fleksör digitorum superficialis
	M.Fleksör pollicis longus

El Bileği Fleksörlerinin Fonksiyonları

Kas Anatomisi

Üç temel primer el bileği fleksörü fleksör karpi radialis, fleksör karpi ulnaris ve gelişmiş ve fonksiyonel olduğunda palmaris longus'tur. Palmaris longus insanların %10'unda yoktur. Olduğunda da oldukça değişkendir ve pek çok küçük tendonu olabilir. Bu kasların tendonları ön distal el bileğinde özellikle güçlü izometrik aktivasyon sırasında kolaylıkla tanınabilir. Palpasyon ile kolay tanınamayan palmar karpal ligament, transvers karpal ligamentin proksimalinde yerleşmiştir. Bu yapı, ekstansör retinakuluma benzer şekilde, el bileği fleksörlerinin tendonlarını stabilize eder ve fleksiyon sırasında aşırı boğulmalarını önler (79, 80).

El bileğinde fleksiyon yapabilen diğer sekonder kaslar parmakların ekstrensek fleksörleridir (fleksör digitorum profundus, fleksör digitorum süperfisialis ve fleksör pollisis longus). El bileği nötral pozisyonda iken abduktör pollisis longus ve ekstansör pollisis brevis el bileği fleksiyonu için küçük bir moment koluna sahiptir. Primer el bileği fleksörlerinin proksimal yapışma yerleri, humerusun medial epikondili üzerini veya yakını ve ulnanın dorsal sınırındadır. Teknik olarak fleksör karpi radialisin tendonu el bileğinde karpal tünelden geçmez; bunun yerine trapezium ve komşu transvers karpal ligament tarafından oluşturulan ayrı bir tünelden geçer. Fleksör karpi radialisin tendonu, ikinci ve bazen üçüncü metakarpalin palmar tabanına distal olarak yapışır. Palmaris longus kası avuç içinde kalın aponeroz içerisinde geniş distal yapışma yerine sahiptir. Fleksör karpi ulnarisin tendonu pisiform kemiğe ve pisohamat ve pisometakarpal ligamentler ve beşinci metakarpal kemiğin palmar tabanına yapışmak için, transvers karpal ligamente süpersifiyal bir düzlemde, distale doğru ilerler (82, 116) .

El Bileği Fleksörlerinin Fonksiyonel Değerlendirilmesi

İnternal moment kolu ve kesit alanı ile ilgili olarak fleksör karpi ulnaris kası üç primer el bileği fleksör kası içerisinde en fazla fleksör dönme momenti üreten kastır. Primer el bileği fleksörlerine ek olarak, ekstansör karpi ulnaris de aktif el bileği fleksiyonu sırasında belirgin elektromiyografik (EMG) aktivite gösterir. EMG aktivitesi, el bileğinin ulnar tarafının stabilitesi ile birlikte ulnar kollateral ligamente yardımcı olacak gücü de yansıtan alışılmadık kas aktivitesini de gösterir.

Fleksör karpi radialis ve fleksör karpi ulnaris kası el bileğini fleksiyona getirmek için sinerjist olarak fonksiyon görürler; ancak birbirlerinin radial ve ulnar deviasyon yeteneklerine de engel olurlar. İki kasın rölatif aktivasyon derecesine bağlı olarak, el bileği fleksiyon postürü değişik derecelerde radial ve ulnar deviasyon ile kombine edilir.

Tablo 2.1, el bileğini fleksiyon getiren kasların toplam kesit alanının ekstansörlerden iki kat daha fazla olduğunu göstermektedir. Benzer bir farklılık kuvvet açısından da mevcuttur. Ekstrensik parmak fleksörleri (fleksör digitorum süperficialis ve profundus kasları) kesit alanın üçte ikisine sahip olduğu için el fonksiyonlarında özel bir öneme sahiptir. Güçlü kavrama gerektiren pek çok aktivite, örneğin ağır cisimleri kaldırma ve çekme, aynı zamanda geniş izometrik el bileği fleksör dönme momenti gerektirir.

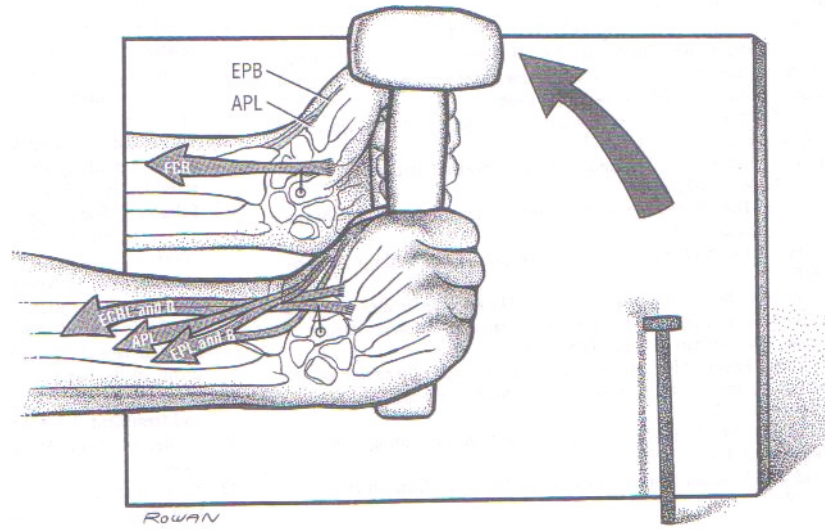
Tablo 2.1: El bileğini kateden kasların kesitsel alanı

<i>El bileği fleksörleri</i>	<i>Kesit alanı (cm²)</i>
Fleksör digitorum profundus	10,8
Fleksör digitorum superficialis	10,7
Fleksör karpi ulnaris	5,0
Fleksör pollisis longus	2,9
Fleksör karpi radialis	2,16
Abdüktör pollisis longus	1,84
Ekstansör pollisis brevis	,40
T O P L A M	33,8
<i>El bileği ekstansörleri</i>	<i>Kesit alanı (cm²)</i>
Ekstansör karpi ulnaris	5,30
Ekstansör digitorum kommunis	4,30
Ekstansör karpi radialis longus	3,14
Ekstansör karpi radialis brevis	2,22
Ekstansör pollisis longus	,56
T O P L A M	15,5

El bileği ekstansörlerinin fleksörlerle birlikte aktivasyonu, genellikle parmak fleksörlerinin uygun aktivasyonunu sürdürmesi için gerekli ekstansiyonda el bileğine pozisyon vermek için gereklidir (40, 82, 116).

Radial ve Ulnar Deviatörlerin Fonksiyonu

El bileğine radial deviasyon yaptırabilen kaslar, ekstansör karpi radialis brevis ve longus kası, ekstansör pollisis longus ve brevis kası, fleksör karpi radialis kası, abduktör pollisis longus kası ve fleksör pollisis longus kasıdır (Şekil 2.12). Nötral el bileği pozisyonunda ekstansör karpi radialis longus kası en fazla kesit alanına ve radial deviasyon dönme momenti için uygun moment koluna sahiptir. Bunu abduktör pollisis longus kası ve ekstansör karpi radialis brevis kası izler.



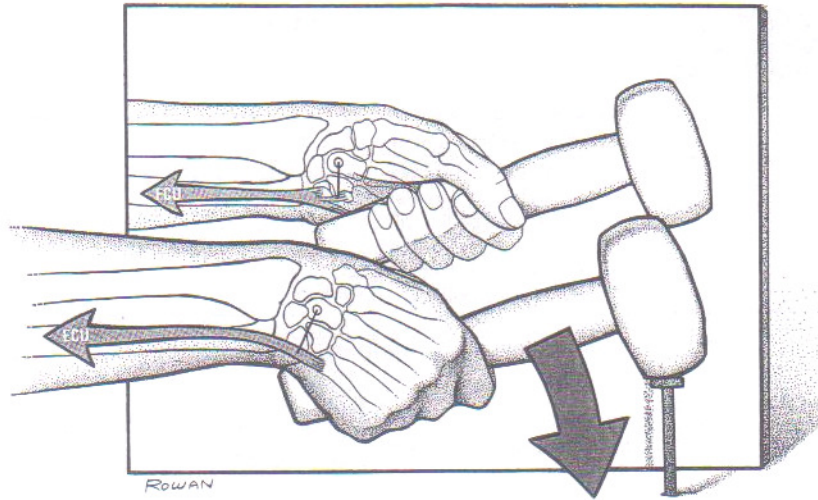
Şekil 2.12: Radial deviasyon mekanizması

Ekstansör pollisis brevis kası, tüm radial deviatörler içinde en büyük moment koluna sahiptir; ancak çok küçük kesit alanına sahip olması nedeniyle dönme momenti üretimi küçüktür. Abduktör pollisis longus ve ekstansör pollisis brevis kası, radial kollateral ligament ile birlikte el bileğinin radial tarafına önemli stabilite sağlar. Radial deviatör kaslar, ulnar deviatör kaslardan %15 daha fazla izometrik dönme momenti üretir (82).

El Bileğinin Radial Deviatörleri

- M.Ekstansör karpi radialis longus
- M.Ekstansör karpi radialis brevis
- M.Ekstansör pollisis longus
- M.Ekstansör pollisis brevis
- M.Abduktor pollisis longus
- M.Fleksör pollisis longus

Şekil 2.13 çekiç kullanımı esnasında radial deviasyon yaptırın kasların kasılmasını göstermektedir. Tüm bu kaslar el bileğinin anterior-posterior rotasyon eksenine lateral olarak geçer. Ekstansör karpi radialis longus ve fleksör karpi radialis bir harekette sinerjist, bir diğer harekette antagonist olarak çalışan iki kastır. Birbirlerinin fleksiyon ve ekstansiyon hareketlerini engelleyerek çekici etkin bir şekilde kavramak için gerekli ekstansiyon pozisyonunda el bileğini stabilize ederler (16, 71).



Şekil 2.13: Ulnar deviasyon mekanizması

El bileğinin ulnar deviasyonunda görevli kaslar ekstansör karpi ulnaris ve fleksör karpi ulnaris'tir. Şekil 2.13 çekiç ile çivi çakılması esnasında ulnar deviasyon yaptırın her iki kasın kasılmasını göstermektedir. Hem fleksör, hem de ekstansör karpi ulnaris kasları, ulnar deviasyon oluşturmak için sinerjist olarak kasılırlar; fakat aynı zamanda el bileğini hafif ekstansiyon

pozisyonunda stabilize ederler. Fleksör ve ekstansör karpi ulnaris kasları arasındaki güçlü fonksiyonel ilişki nedeni ile bunlardan birinde olan yaralanma, ulnar deviasyonun bütün kinetiğini yetersiz kılar. Bu durumda ekstansör karpi ulnaris tendonunun distal yapışma yerine yakın bölgede inflamasyon ve ağrı olur. Ekstansör karpi ulnaris ağrı ve aktivite azlığı veya yokluğu nedeniyle ulnar deviasyon sırasında fleksör karpi ulnaris kası tek başına kalır ve sonuçta oluşan fleksiyon pozisyonu etkin kavrama için yetersiz olur (82).

El Bileğine Ulnar Deviasyon Yaptıran Kaslar

M.Ekstansör karpi ulnaris

M.Fleksör karpi ulnaris

2.1.6 Vasküler Anatomi

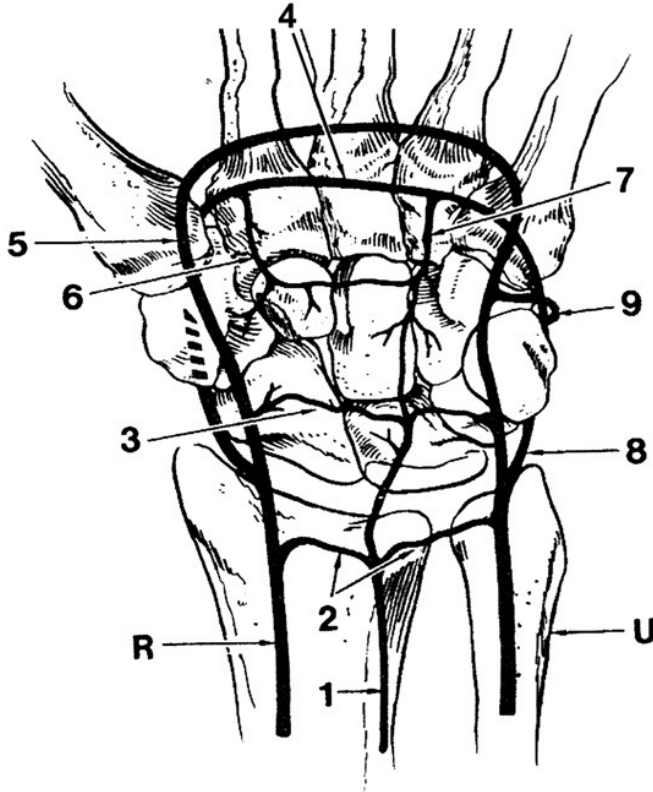
Ekstraosseöz vasküler yapılar

El bileği kemikleri vasküler desteğini radial ve ulnar arterler ile anterior, posterior interosseus arterlerin dalları olan üç dorsal ve üç palmar arkten alırlar. Üç dorsal ark (proksimalden distale) radiokarpal, interkarpal ve bazal metakarpal transvers ark olarak isimlendirilirler. Anastomozlar genelde interosseal arter sistemi, radial ve ulnar arter arkları arasındadır. Palmar arklar (proksimalde distale) radiokarpal, interkarpal ve derin palmar arklar olarak isimlendirilir (16, 71).

İntraosseöz vasküler yapılar

Pisiform kemiği dışında tüm karpal kemiklerin kanlanmaları, dorsal ve palmar giriş noktalarından sağlanır ve genelde birden fazla besleyici arter bulunur (Şekil 2.14). Genellikle majör besleyici damarlara ek olarak küçük çaplı penetran damarlar da vardır. İntraosseöz anastomozlar üç temel yapıdadırlar: 1)Kemik içerisinde iki geniş çaplı damar arasında olan direkt anastomoz 2)Kemiğe değişik alanlardan giren benzer çaptaki damarlardan oluşan anastomozlar 3)Nadir görülmesine rağmen kemiği dolduran diffüz arteriel ağ. Her bir karpal kemiğin intraosseöz vasküler paterni detaylı olarak

tanımlanmasına rağmen; klinikte vasküler problemlere yol açma eğilimleri nedeniyle lunatum, kapitatum ve skafoid ile ilgili çalışmalar özellikle önemlidir. Lunatumun vasküler penetrasyon için uygun olan yalnızca iki yüzeyi vardır: dorsal ve palmar. Dorsal ve palmar vasküler pleksuslardan lunatuma her yüzeyden iki ve dört adet penetran damar girer. Anastomoz yapısına dayanarak kalıcı üç intraosseöz damarlanma paterni (X,Y ve I)



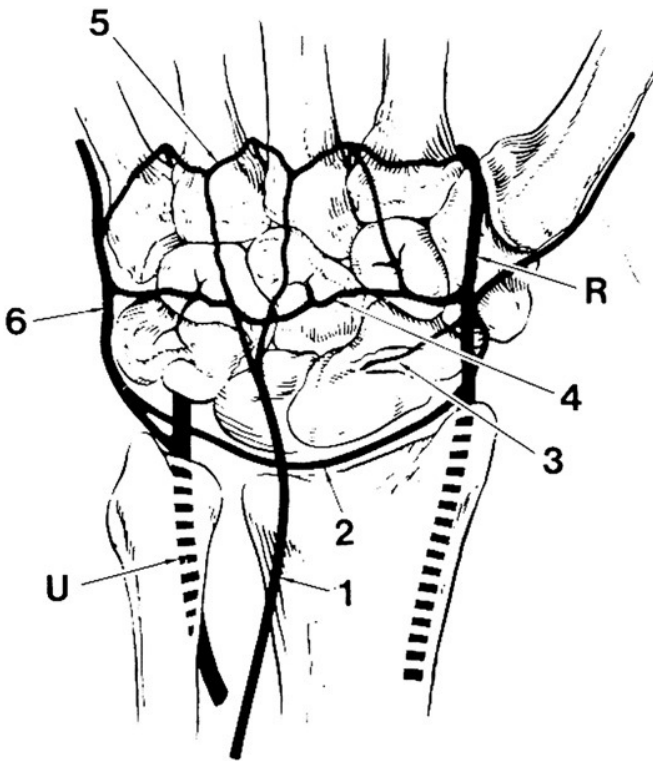
**Şekil 2.14: El bileği arterleri
(volar görünüm)**

1:A.ant. interosseöz, 2:Palmar radiokarpal ark, 3:Palmar interkarpal ark, 4:Derin palmar ark, 5:Superficial palmar ark, 6:A. radialis rekürrens, 7:A. Ulnaris rekürrens, 8:Ulnar arterin medial dalı, 9:Ulnar arterin dorsal interkarpal ark dalı, U:Ulnar arter, R:Radial arter

tanımlanmıştır.

Lunatumun proksimal subkondral kısmı en az damarlanan bölgedir. Kapitatum kemiği hem palmar, hem de dorsal vasküler pleksuslardan beslenir; ancak palmar pleksus daha belirgindir ve daha geniş çaplı damarlardan oluşur. Dorsal penetrasyon, distalden orta kısma doğru olur. İnterosseöz vaskülarizasyon, dorsal ve palmar damarların minimal anastomozları ile proksimal yönlü retrograd akımdan oluşur. Dorsal damarlar temelde kapitatumun başını beslerken, palmar damarlar kapitatumun hem boynu hem de gövdesini besler (82, 116).

Skafoidi besleyen üç damar radial arterden orijin alır: lateral palmar, dorsal ve distal arter dalları. Lateral palmar damar, skafoidin temel besleyici damarıdır. Tüm damarlar proksimal ucu beslemek için retrograd biçimde seyrederek ve skafoidin korteksini skafoid kemerinin distalinde penetre ederler. Posterior interosseöz arterden proksimal uca giden minör vasküler penetrasyonlar olduğunu bildiren yayınlar olsa da, skafoid kemerindeki yer değiştirmiş kırıklarda proksimal kısımda avasküler nekroz riski vardır. Buna karşılık diğer karpal kemiklerin kortekslerini penetre eden birden fazla



Şekil 2.15: El bileği arterleri (dorsal görünüm)

1:Ant. İnterosseal arterin dorsal dalı, 2:Dorsal radiokarpal ark, 3:Skafoidin dorsal sırtına dalı, 4:Dorsal interkarpal ark, 5:Basal metakarpal ark, 6:Ulnar arterin medial dalı, R:Radial arter, U:Ulnar arter

besleyici damar bulunmaktadır; bu nedenle skafoid kemikle karşılaştırıldığında, avasküler nekroz riskleri daha düşüktür (16) (Şekil 2.15)

2.2 Proprioepsiyon

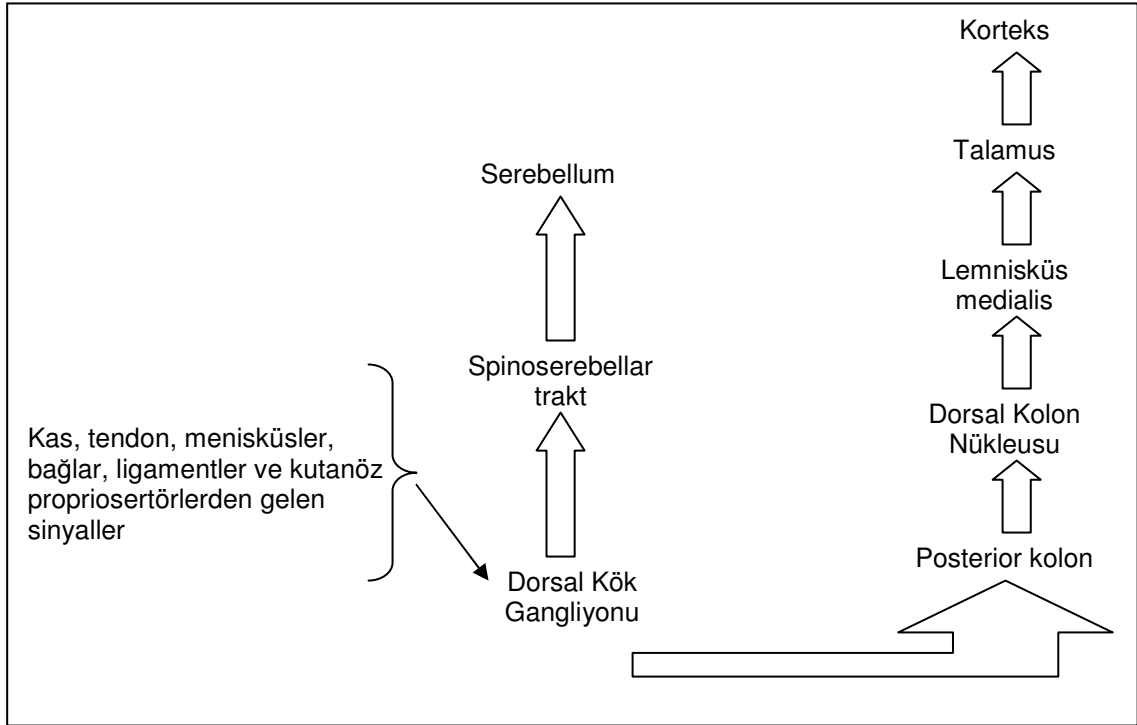
2.2.1 Duyu sistemlerine genel bakış

Duyu sistemi, bireyin çevreyle ilişkisinde görev alır. Her duyu, reseptörlerin ya da son organların (end organ) uyarılmasıyla ortaya çıkan impulslara bağlıdır. Bu impulslar duyuusal sinirler ile santral sinir sistemine taşınır ve sonra bilinçli fark etme, refleks hareket ya da duyuusal uyarıyı izleyen diğer olaylar için lif demetleri aracılığıyla daha yüksek merkezlere iletilir (115).

Özel duyular dışındaki tüm duyular somatik duyulardır. Duyu sistemi birkaç farklı şekilde sınıflanabilir. Sherrington duyuyu eksteroseptif, interoseptif ve proprioseptif olarak ayırmıştır. Somatosensöriyel fonksiyonları ve özel duyuları içeren eksteroseptif duyu dış çevre hakkında bilgi sağlar. İnteroseptif sistem internal fonksiyonlar, kan basıncı ya da vücut sıvılarındaki kimyasal içeriklerin konsantrasyonları hakkındaki bilgiyi taşır. Proprioseptif duyular uzayda vücudun ve ekstremitelerin oryantasyonunu algılar (15, 75).

“Proprioepsiyon” terimi Latince “proprius”-birine ait olma- ve “ception”-fark etme- kelimelerinin birleşmesinden oluşmuştur ve kişinin kendisini hissetmesi ve fark etmesi anlamına gelmektedir. Bu terim duyuusal algı ve sonrasında oluşan postürün motor kontrolü, denge, odyo-vizüel motor koordinasyon ve eklem stabilitesini belirtmek için 20. yy başlarından beri kullanılmaktadır (35). Bilimsel topluma girişinden sonra geçen zaman içerisinde bu terimden, pek çok ve çeşitli duyu modalitelerini tanımlamak için faydalanılmıştır. 1997’de proprioepsiyon ve nöromüsküler eklem stabilitesi alanında özelleşen uzmanlar “sensörimotor fonksiyon” terimini ortaya atmışlardır. Bu terim o zamandan beri “eklem stabilitesi ile ilgili duyuusal, motor ve santral süreçlerin total entegrasyonu” ile eş anlamlı olarak kullanılmaktadır. Bu yüzden, eklem sensörimotor fonksiyonları hem şuurlu hem de şuursuz duyular ve böylece hem ölçülebilen hem de ölçülemeyen nitelikleri gerektirir (101, 125) (Şekil 2.16).

Duyu sistemleri şuur ve şuuraltı olarak fonksiyon görebilir. Uzayda ekstremite pozisyonunun izlenmesinin hem bilinçli (posterior kolon yolları), hem de bilinçsiz (spinoserebellar yollar) komponentleri vardır. Bilinçli somatosensöriyel duyu sistemi pozisyon/ vibrasyon/ ince ayırt edici dokunma sistemi ve ağrı/ ısı/ kaba ayırt edici dokunma sistemi olmak üzere iki komponente sahiptir. Farklı duyuusal modaliteler, değişik boyut, çap ve

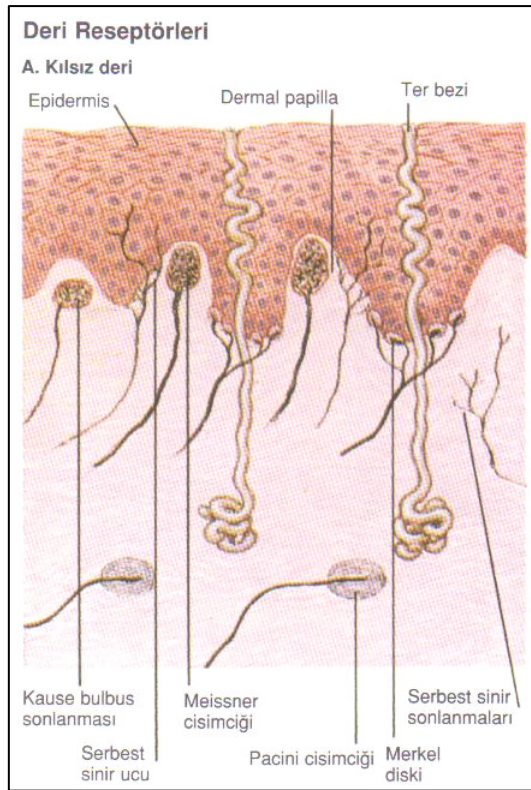


Şekil 2.16: Proprioepsiyonun organizasyonu

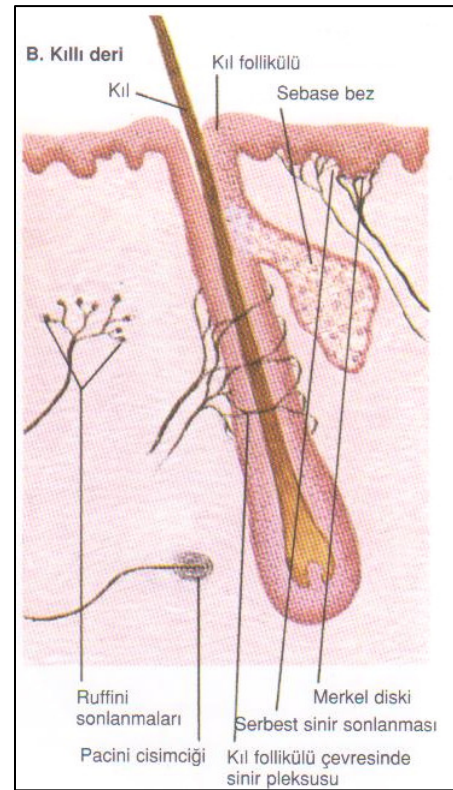
myelinizasyondaki sinir liflerinde taşınır. Duyusal impulslar dorsal (posterior) kök gangliyonuna ve oradan da santral sinir sistemine taşınır. Bir ya da daha çok sinapstan sonra impulslar özel lif demetleri ile yükselir ve beynin santral duyuusal bölümlerine ulaşır. İnce dokunma, pozisyon ve vibrasyon posterior kolon/ medial lemniskal sistem üzerinde taşınır. Baş ve yüzden gelen duylar ponstaki trigeminal ana duyuusal nükleus tarafından işlemlenir. Vücuttan gelen ağrı ve ısı duyusu spinotalamik traktus, yüz ve baştan gelen ise spinal traktus ve trigeminal nükleus ile taşınır (15, 51).

2.2.2 Derideki Reseptörler

Hem kılsız hem de kıllı deride, vücut yüzeyine uygulanan mekanik, termal veya ağırlı uyarıları saptama amacıyla çok çeşitli reseptörler bulunur (Şekil 2.17-18). Bu reseptörleri görüntülemek ve bunları tek tek uyararak incelemek çok güç olduğundan farklı reseptör tiplerinin işlevlerinin belirlenmesi halâ birçok durumda varsayıma dayanmaktadır. Bir uyarıya yanıt vermek üzere özelleşmiş bir reseptörün bir diğer uyarıya da yanıt verebilmesi (genellikle daha zayıf şekilde) konuyu daha da karmaşık hale getirmektedir. Bu tür çapraz iletişimin merkezi sinir sistemi tarafından nasıl çözümlendiği halâ bilinmemektedir (51, 81).



Şekil 2.17: Kılsız derideki reseptörler

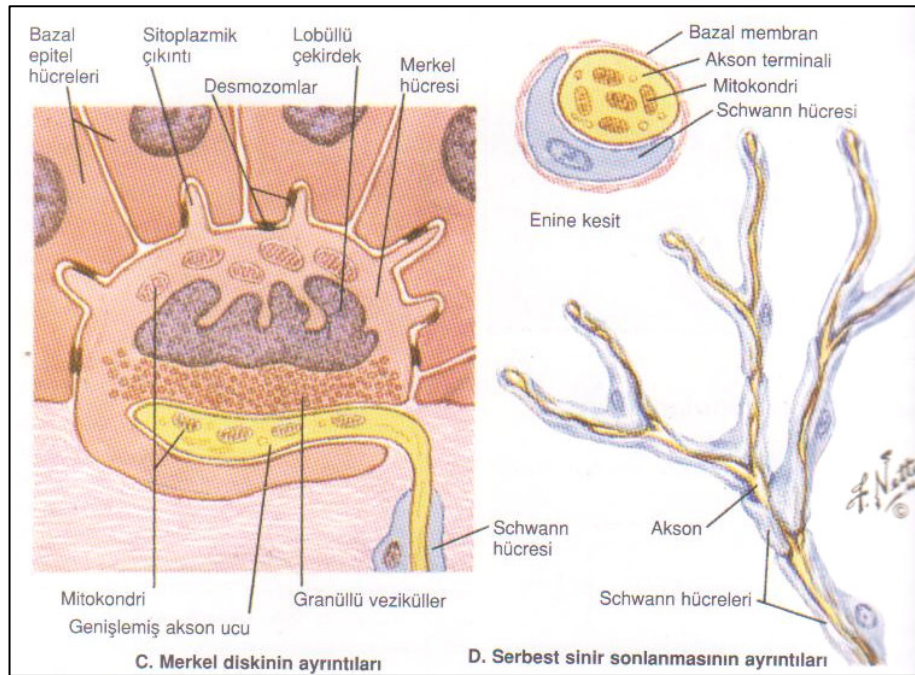


Şekil 2.18: Kıllı derideki reseptörler

Kıllı ve kılsız deride üç tip reseptöre sık rastlanır. Bunlar *Pacini cisimcikleri* (lamellar), *Merkel diskleri* ve *serbest sinir uçlarıdır*. Pacini cisimcikleri hızlı uyum gösteren mekanik transdüksiyon işlevi yapan mekanoreseptör olarak tanımlanmıştır. Pacini cisimciği mekanik kuvvet veya yer değiştirmeyi aksiyon potansiyelleri haline çeviren mekanoreseptörler

olarak bilinen bir reseptör çeşididir. Pacini cisimciklerinin birincil rolü kısa süreli dokunma veya titreşimi algılamaktır (51, 94).

Merkel diskleri yavaş uyum sağlayan mekanoreseptör yapılar olup bunlar deri yüzeyinde kalıcı şekil değişikliğine yanıt verir. Tipik olarak, çapı kalından ortaya kadar değişen bir afferent lif, epidermin kalınlaşmış bir bölgesine yerleşmiş bir Merkel diskleri kümesi yapmak üzere dallanır. Her sinir terminal dalı özelleşmiş bir hücre (Merkel hücresi) tarafından sarılmış bir diskte sonlanır. Merkel hücresinin distal yüzeyi sitoplazmik çıkıntılar ve desmozomlarla yakındaki epiderm hücrelerine tutunurken hücrenin tabanı altta yatan dermis içine gömülmüş haldedir. Yani, epidermin dermise göre hareket etmesi Merkel hücresi üzerine yırtıcı bir kuvvet uygulayacaktır. Merkel hücresinde çok sayıda granüllü veziküller de bulunmakta olup burada kimyasal sinaptik iletimin bir biçiminin söz konusu olduğu ileri sürülmüşse de bunu göstermek için sarfedilen çabalar sonuçsuz kalmıştır (81, 115) (Şekil 2.18).



Şekil 2.18: Merkel diski ve serbest sinir sonlanması

Sinir uçlarının doğrudan mekanik transdüksiyonu da bir olasılık olarak düşünülmelidir. Öte yandan, transdüksiyon için hangi mekanizma kullanılırsa

kullanılsın Merkel-hücreleri/ Merkel diski sonlanması hem dokunma ve hem de basınç duyularının algılanmasında rol oynuyor gibi gözükmektedir.

Serbest sinir uçları da denilen yapı dallanan bir sinir aksonundan yapılmış olup tamamen veya kısmen Schwann hücreleri tarafından sarılmıştır. Akson/ Schwann hücre kompleksi daha sonra bir bazal membran tarafından sarılır. Serbest sinir uçları, dermiste yoğun biçimde dallanan ve epidermise penetre olabilen ince miyelinli veya miyelinsiz liflerden kaynaklanır. Bu uçlar güçlü mekanik ve termal uyarılara yanıt verir ve ağrılı uyarılar tarafından özellikle aktive edilir (81, 115).

Çıplak deride bulunan diğer reseptörler, miyelinli bir aksonun aksesuar hücrelerinde sepet şeklinde yaptıkları bir yapıya dalan terminal dallarından oluşan *Meissner cisimcikleri* (taktil cisimcikleri) ile ince bir miyelinli lifin çomak şeklinde bir sonlanma yaptığı *Krause'nin bulbus sonlanmasıdır*. Meissner cisimciğinin dokunma duyusunun altında yatan, hızla uyum gösteren mekanoreseptör olduğu, Krause bulbus sonlanmasının ise termoreseptörler olabileceği varsayılmaktadır.

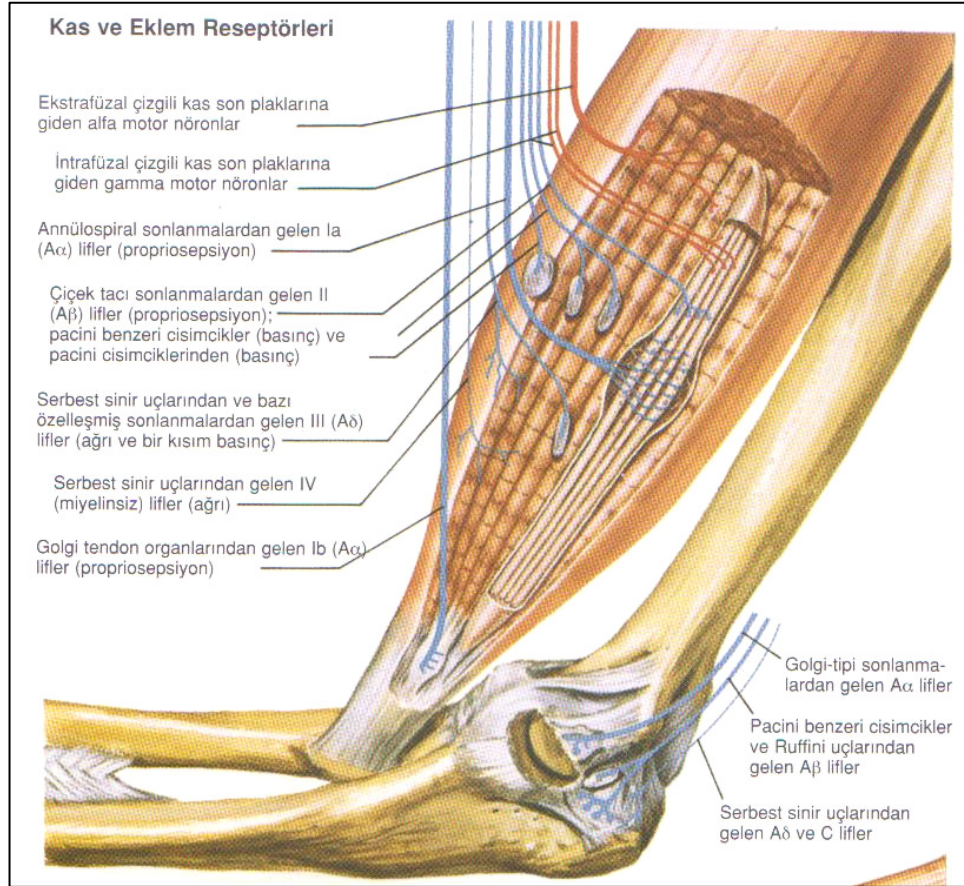
Kıllı derideki en önemli reseptörler *kıl folikülü sonlanmaları* olup bunlar da duyuşal sinir liflerinin akson terminalleri olarak bir kıl folikülünün çevresine dolanmıştır. Bu sonlanmalar hızlı uyum gösteren mekanoreseptörler olup kıla ve dolayısı ile deriye uygulanan herhangi bir kuvvet hakkında bilgi sağlar. Kıllı deride çiçek tacına benzeyen *Ruffini sonlanmaları* da bulunmakta olup bunlar kıllı deriye uygulanan sürekli basıncı algılamaktadır (81).

2.2.3 Kas ve Eklem Reseptörleri

Eklem ve kaslara yerleşik çeşitli tipte mekanoreseptörler merkezi sinir sistemine vücut bölümlerinin pozisyonu ve çeşitli kasların uzunluk ve gerilimleri hakkında özelleşmiş proprioseptif bilgi sağlarlar. Eklem kapsülü ve bağlarında dört tip reseptör tanımlanmıştır. *Golgi-tipi* sonlanmalar ligamentlerde yer alırken kapsülde bulunmaz ve kalın çaplı (A α) lifleri ile inerve edilir. Bunlar eklem pozisyonuna tonik boşalma hızında değişikliklerle yanıt veren, yavaş uyumcul reseptörlerdir. Pacini cisimciklerine

benzeyen fakat çok daha küçük olan *Pacini benzeri cisimcikler* ve *Ruffini sonlanmaları* eklem kapsülünde bulunmakta ve orta çaplı ($A\beta$) liflerle innerve edilmektedir. Ruffini sonlanmaları hem hareket hemde pozisyona yanıt verirken Pacini benzeri cisimcikler sadece harekete yanıt verir. İnce grup III ($A\delta$) lifler ve miyelinsiz C lifleri tarafından beslenen *serbest sinir uçları* ligamentler ve eklem kapsüllerinde bulunur. Bunların eklemin aşırı, ağrılı hareketlerine yanıt verdiği düşünülmektedir. Eklem pozisyonunu bildirmede bu dört reseptör tipinin oynadıkları rolün paylaşımı tam olarak anlaşılammıştır (40, 81).

Kaslarda da dört tip reseptör bulunmakta olup bunlardan iki tanesi (Golgi tendon organı ve kas içiği) kas için özeldir ve reflekslerin proprioseptif denetimine katkı yapar (Şekil 2.19).



Şekil 2.19: Kas ve eklemlerdeki reseptörler

motor lifler tarafından innerve edilmekte olup bu lifler intrafuzal kas liflerinde bir kasılmaya neden olarak içciğin duyarlılığını artırır. Her içcik tek bir kalın grup Ia (A α) lifinden gelen ve hem çekirdek kesesi hem de çekirdek zinciri çevresinde geniş bir *anülospiral* (primer) sonlanma yapan afferent innervasyon ile esas olarak çekirdek zinciri lifleri üzerinde *çiçek tacı* (sekonder) sonlanmalar yapan ve 1-5 tane orta grup II (A α) lifler alan başka bir afferent innervasyona sahiptir. Bu içcikler ekstrasüzal kas liflerine paralel uzandıklarından kasın boyu uzadığında bunlar gerilmeye uğrar. Normal hareket sırasında karşılaşılan kas gerilmesinin sınırları her iki tip afferent lifi uyarırsa da bu uyarma bir ölçüde farklı şekillerde gerçekleşir. Grup II lifler, tonik deşarj hızında bir artışla birlikte olan (bu hız kas gerili kaldığı sürece sabit şekilde devam eder) kas boyundaki uzamaya yanıt verirken grup Ia lifler, kas uzamasının dinamik fazına özellikle şiddetle yanıt verir ve gerilmenin devam etmesi halinde yanıt giderek azalır (51, 81, 115).

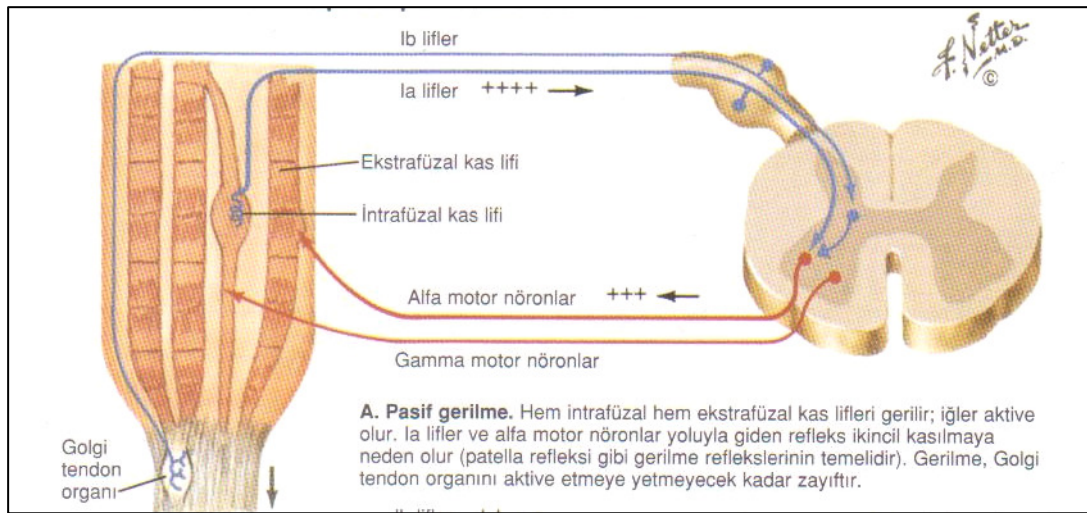
Kas reseptörlerinin geri kalan iki tanesi grup II (A β) lifler tarafından innerve edilen ve vibrasyon uyarısına yanıt veren *Pacini benzeri cisimcikler* ile grup III (A δ) veya IV (C) lifler tarafından innerve edilen ve güçlü, ağırlı uyanlara yanıt veren *serbest sinir uçlarıdır*.

2.2.4 Kas Geriliminin Proprioseptif Refleks Kontrolü

Beynin yüksek motor denetim merkezleri *kas içciği* ve *Golgi tendon organlarından* esas olarak arka spinal köklerin grup I lifleri yoluyla gelen bilgileri alır. Bu proprioseptif bilginin merkezi işleme normal kas aktivitesinin yumuşak şekilde olmasına ve hareketin eşgüdüm altında gerçekleşmesine yol açar. Öte yandan kas içciği ve golgi tendon organı aktivitesi, grup I ve II kollateral lifler yoluyla spinal düzeyde doğrudan görev yapabilir ve vücudun pozisyonu veya oryantasyonunda hızlı bir değişikliğe ihtiyaç duyulduğunda bunu kompanse edecek reflekslerin görülmesi ile sonuçlanır. Sensorimotor sistemde bu segmenter işleme, omurilik kesisi sonrası veya bazı hastalık durumları gibi beyin merkezleri ile olan bağlantıların kaybı halinde bile verimli bir şekilde çalışır (12, 125).

Kas içcikleri belli bir kasın gerilmesine veya boyunda bir değişiklik olmasına yanıt verdiği zaman Ia afferent liflerde bir aktivite artışı olur ve bu da daha sonra o kası besleyen alfa motor nöronları direkt olarak uyarır (Aynı Ia lifler internöron bağlantıları üzerinden giderek antagonist kasları inhibe eder). Bunun aksine, kas gerilmesine yanıt veren Golgi tendon organlarının neden olduğu Ib afferent liflerdeki aktivite o kası besleyen alfa motor nöronları inhibe etmek üzere spinal internöronları uyarır.

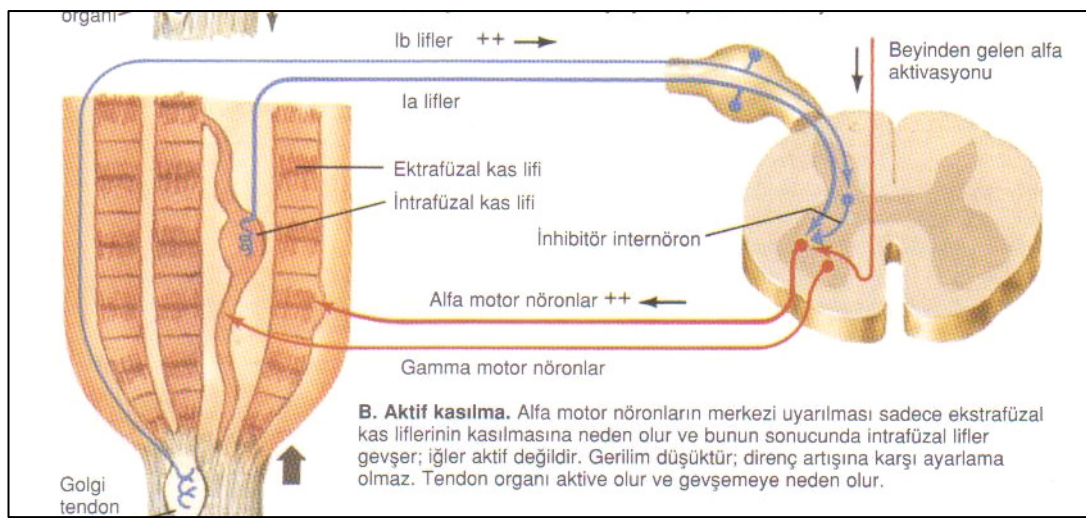
Pasif Gerilme: Kasın boyu pasif olarak uzatıldığında hem ekstrasfüzal hem de intrasfüzal lifler gerilir (Şekil 2.21). *Kas içcikleri* aktive olur ve grup Ia ile grup II liflerde bir aktivite zinciri ortaya çıkar. Bu ise alfa motor nöronların refleks uyarılmasını provoke eder ve böylece ekstrasfüzal liflerin kasılması uyarılarak



Şekil 2.21: Pasif gerilme

uygulanan kuvvete karşılık yaratılır. Pasif gerilmeye nispeten daha az yanıt veren Golgi tendon organları bu koşullarda deşarj göstermez. Gerilme ve uzunluktaki değişme ne kadar hızlı veya şiddetli ise kasılma o derece hızlı ve şiddetli olur. Patella refleksi buna bir örnek olarak gösterilebilir. Yani, spinal gerilme refleksi kasın bir yay gibi görev yapabilmesini sağlar. Sinir desteğinin afferent veya efferent bacağı harabiyete uğrarsa bu etki olanaksızlaşır (51, 81).

Aktif Kasılma: Sadece alfa motor nöronların fazla uyarıldığı bir durum ektrafüzal liflerde kasılma yaparken bu, kasın bir bütün halinde kısalmasına ve intrafüzal liflerin gevşemesine neden olacaktır. Bu ise kas içcikleri ve la liflerdeki aktiviteyi sonlandırır. Öte yandan, kas gerilimindeki artış, alfa motor nöronları internöronlar üzerinden inhibe edecek olan Golgi tendon organları ve Ib afferent liflerini etkinleştirmeye yetecek düzeydedir. Yeterli bir Ib inhibisyonu kas kasılmasının sonlanmasına veya kasın gevşemesine yol açacaktır (54) (Şekil 2.22).



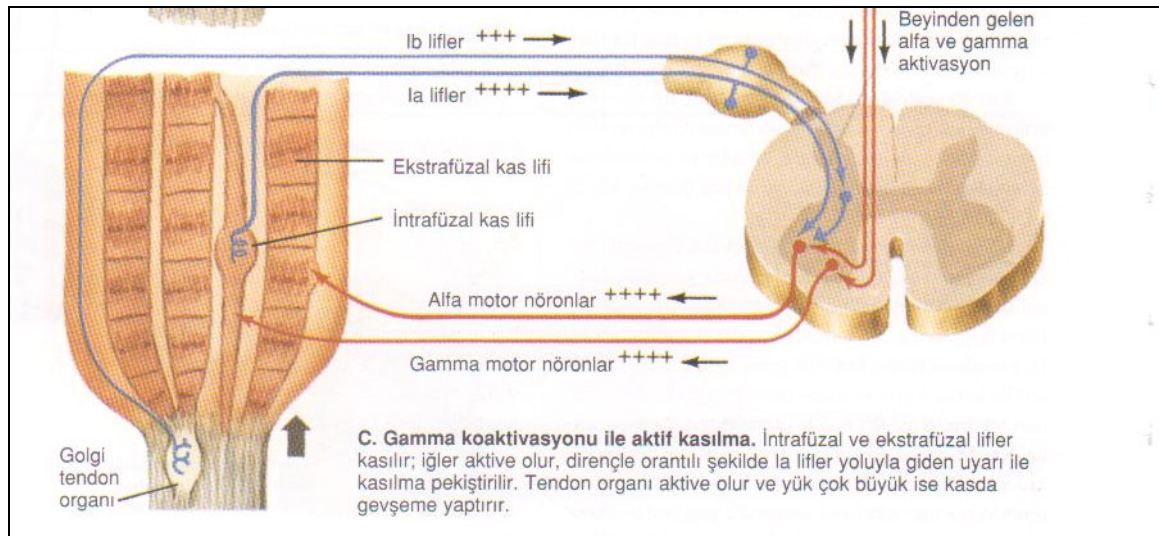
Şekil 2.22: Aktif kasılma

Gamma koaktivasyonu ile aktif kasılma: Beyinden gelen komutlar hem alfa hem gama motor nöronları uyarır ve sonuçta hem ektrafüzal hem intrafüzal liflerde kasılma ve kısalma görülür (Şekil 2.23). Kas içcikleri etkinleşir ve Ia liflerde bir boşalma oluşturur, bu da alfa motor nöronların daha üst düzeyde uyarılmalarını kuvvetlendirir. Bu kuvvetlendirilmiş motor nöron aktivitesi kasılmış kasın zembereğe benzer gerilimini artırır ve yükteki değişikliklere uyum sağlayacak ayarlamalar yapmasına yardım eder. Golgi tendon organlarından gelen aktive edilmiş Ib afferent lifler yükün çok fazla olması halinde gerilimi azaltacak ve gevşemeye neden olacak bir geri bildirim mekanizması yoluyla alfa motor nöronlara karşı çıkar. Bu "kuvvet geri bildirim" mekanizmasının rolü tam olarak anlaşılamamıştır.

Motor nöronlar omuriliğe giren hem proprioseptif ve hem de eksteroseptif liflerden etkilenir. Bu lifler omuriliğe girince ilgili motor çekirdeğin büyüklüğüne aşağı yukarı uygunluk gösteren birçok segment boyunca

uzanan ön ve arka boynuz içine terminal dallar veren yukarı tırmanan ve aşağı inen dallara ayrılabilir. Buradan ayrılan afferent lif dalları, çeşitli duyuşal durak çekirdeklerine gitmek üzere yollarına rostral olarak devam edebilir.

En bol miktarda bulunan *proprioseptif lifler* kas içcikleri (Grup Ia ve II lifleri) ve Golgi tendon organlarından (Grup Ib lifleri) bilgi taşıyanlardır. Ia lifleri, ön boynuz motor çekirdeklerine girmeleri ve motor nöronlarla doğrudan bağlantı yapmaları yönünden özgündür. Bu bağlantılar *gerilme refleksinin* temelini oluşturur. Belli bir kasta bir içcikten gelen bir Ia afferent lifi o kası besleyen motor nöronların hemen hemen tamamını ve bununla sıkıca ilişkili sinerjik kasları besleyen motor nöronların küçük bir bölümünde doğrudan eksitasyon meydana getirir. Bu seçicilik Ia lifinin terminal alanının aşağı yukarı bunun kasına ait motor çekirdek ile birlikte olması ve civarda yer alan sinerjik motor çekirdeklerle bir miktar örtüşmesi gerçeği ile açıklanabilir (15, 51,115).



Şekil 2.23: Gamma koaktivasyonu ile aktif kasılma

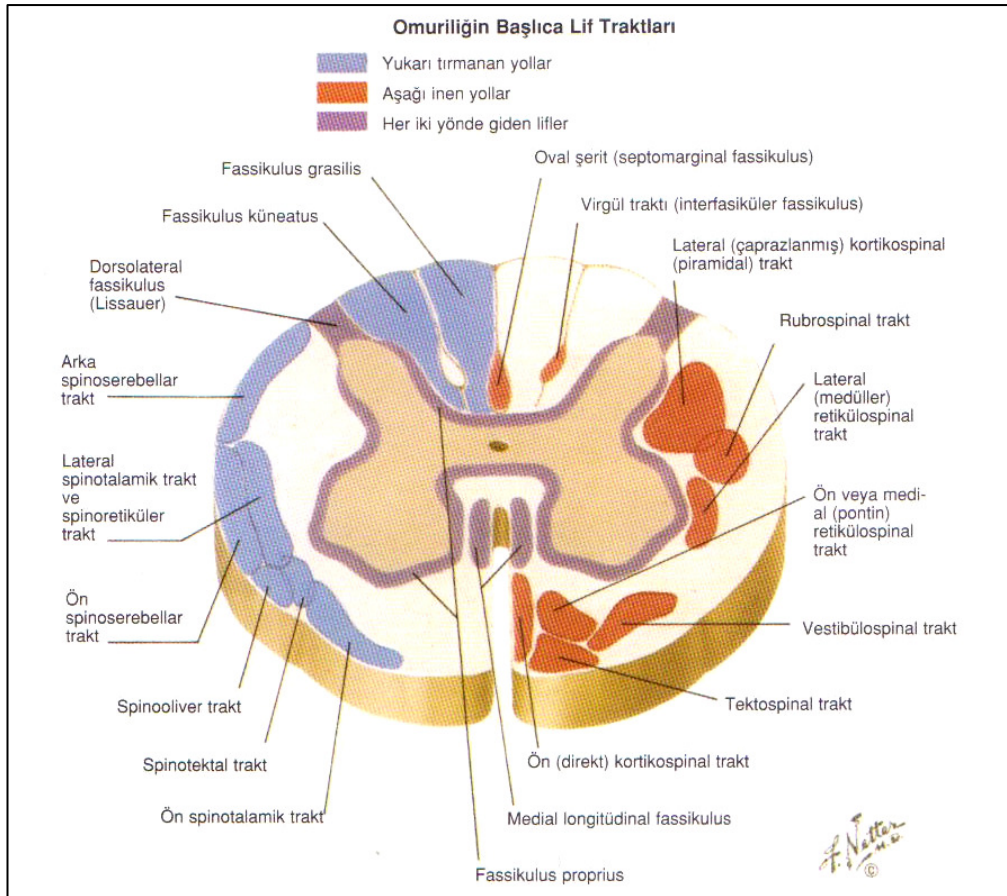
Eksteroseptif lifler tarafından uyandırılan başlıca refleks *fleksör çekilme refleksidir*. Bu reflekste motor etkilerin dağılması gerilme refleksine ait olandan çok daha geniş olup ekstremitedeki fleksör kasların çoğunu ve çapraz aktivasyonla kontralateral ekstansör kasları kapsar. Öte yandan bu dağılım afferent liflerin projeksiyon kalıbından türetilmemekte olup bunun

yerine geri çekilme refleksinin altında yatan ön ve arka boynuzlardaki internöron zincirlerinin ayrışma uğrayan projeksiyonlarından gelmektedir.

2.2.5 Propriosepsiyonun Çıkan Yolları

Fasikülüs Grasilis ve Fasikülüs Küneatus

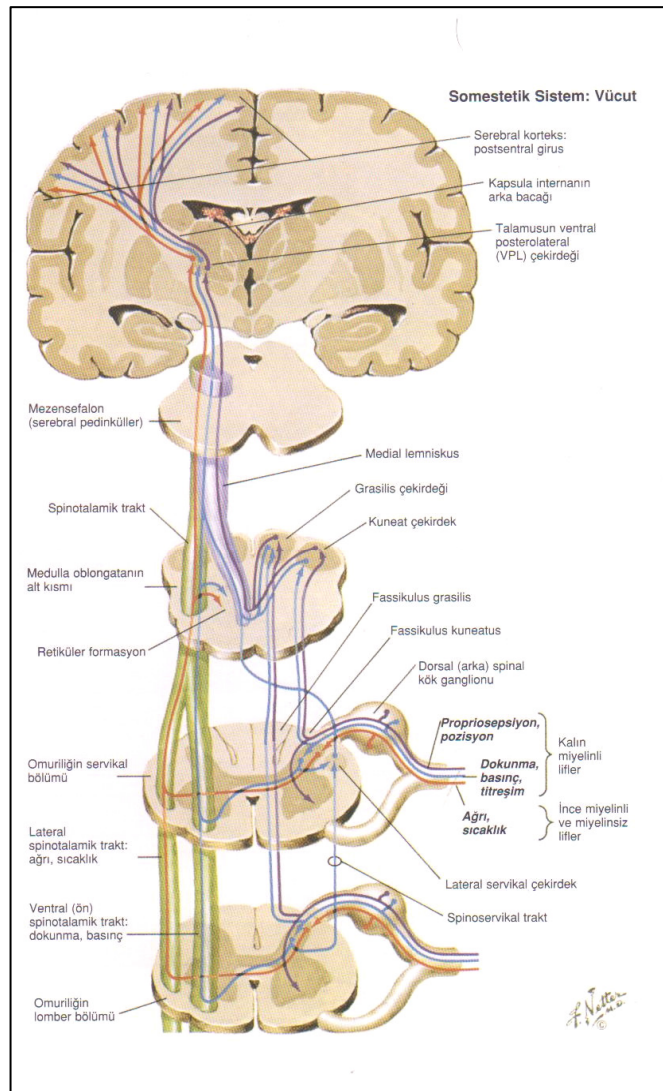
Bu yollar, şuurlu propriosepsiyon (pozisyon duygusu ve kinestezi) ve ayırt edici dokunma-basınç duyuları (iki nokta diskriminasyonu ve vibrasyon) ile ilgilidir. İki nokta diskriminasyonu ve vibrasyon duygusu gibi duylulara *epikritik duylular* adı da verilir. Bu yollar ile ilgili birinci nöronların hücre gövdesi ganglion spinale'de bulunur. Bu nöronların periferik uzantıları Golgi tendon organı, kas içiği ve eklem kapsülünden propriosepsiyon duygusu ile ilgili; Pacini korpüskülü ve Meissner korpüskülleri gibi reseptörlerden ise ayırt edici dokunma-basınç duygusu ile ilgili impulsları ganglion spinale'ye taşır.



Şekil 2.24: Omurlüğün başlıca inen-çıkan yolları

Ganglion spinale'deki birinci nöronların santral uzantıları, kalın miyelinli aksonlar olup, radix posterior'un medialinden geçerek medulla spinalis'e girer ve aynı taraftaki funikulus posterior içerisinde çıkan ve inen aksonlar verir. Funikulus posterior'da çıkan aksonların koksigeal, sakral, lumbal ve alt torakal seviyelerden gelenleri fasikülüs grasilis'i üst torakal ve servikal seviyelerden gelenleri ise fasikülüs küneatus'u oluşturur (51, 115, 125) (Şekil 2.25).

Bu nedenle medulla spinalis'in alt seviyelerinde yalnız fasikülüs grasilis, yaklaşık T6 segmenti ve bunun üzerindeki seviyelerde ise medialde



Şekil 2.25: Şuurlu propriozeptionun çıkan yolları

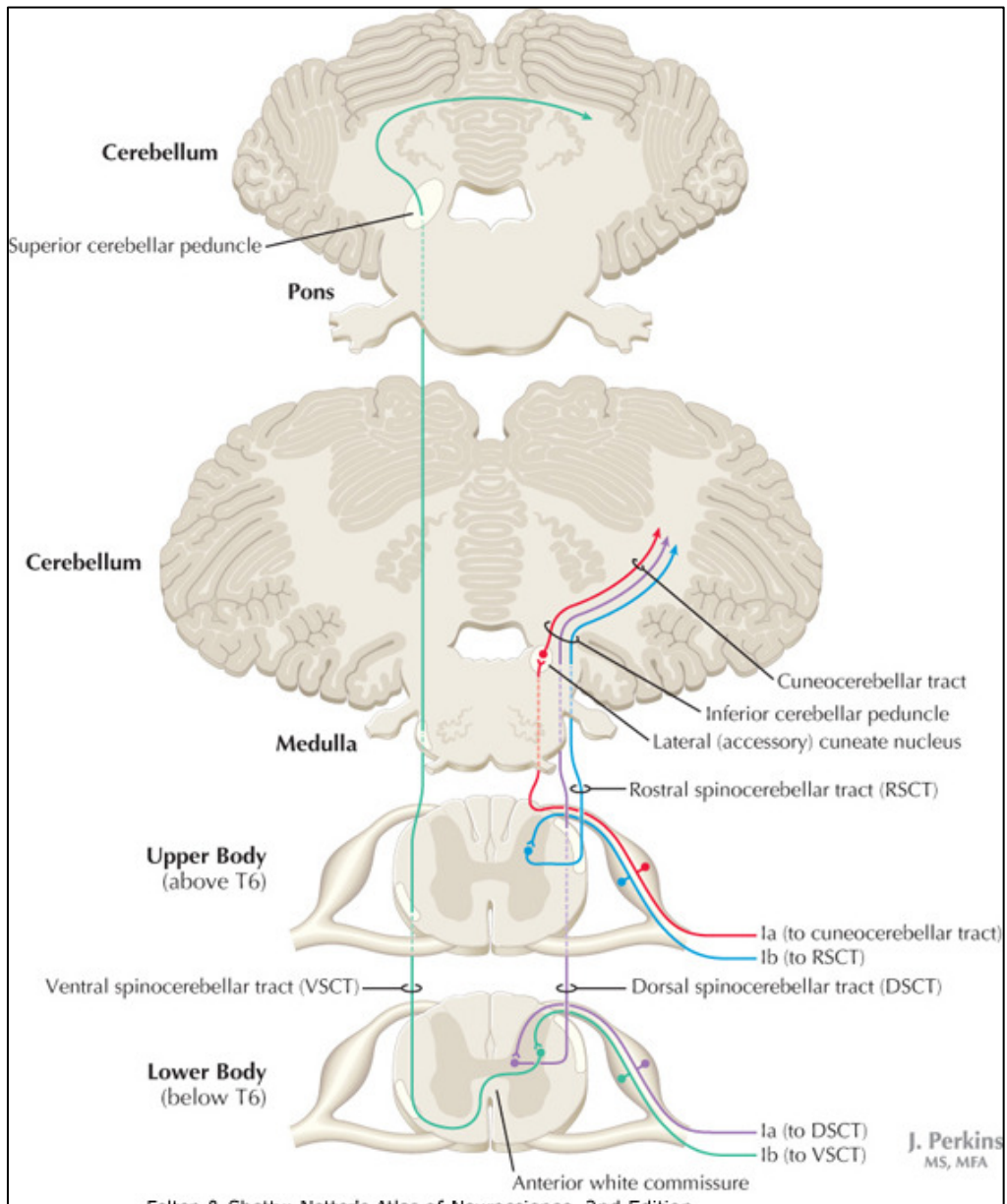
fasikülüs grasilis, lateralde fasikülüs küneatus bulunur. Fasikülüs grasilis ve fasikülüs küneatus içerisinde alt segmentlerden gelen lifler daha medialde, üst segmentlerden gelen lifler ise daha lateralde seyrederek. Funikulus posterior içerisinde yükselen aksonlar, medulla oblongata'nın alt seviyelerinde ve arka tarafında bulunan nükleus grasilis ve nükleus küneatus'a gelir. Bu seviyede, fasikülüs grasilis içerisindeki aksonlar nükleus grasilis'teki, fasikülüs küneatus içerisindeki aksonlar ise nükleus küneatus'taki ikinci nöronlar ile sinaps yaparlar. İkinci nöronların aksonları *fibrae arcuatae internae* adını alarak öne ve mediale doğru kıvrılır ve orta çizgiyi çaprazlayarak karşı tarafa geçer. Her iki taraftan gelen liflerin oluşturduğu bu çapraza *decussatio lemnisci medialis* adı verilir. Karşı tarafa geçen lifler lemnisküs medialis adını alarak orta hattın her iki yanında yukarıya doğru yükselir. Lemnisküs medialis, pons'un üst seviyelerinde orta hattın laterale doğru uzaklaşır; mezensefalon seviyesinde ise lateral kenara yaklaşarak yükselir. Lemnisküs medialis'i oluşturan aksonlar daha sonra talamus'un nükleus ventralis posterolateralis (ventral posterolateral nucleus)'indeki üçüncü nöronlar ile sinaps yaparlar. Bu nöronların aksonları ise kapsula interna'nın crus posterius'undan ve daha yukarıda korona radiata'dan geçerek kortekse ulaşır ve gyrus postcentralis'te Brodmann'ın 3,1,2 numaralı sahalarındaki nöronlar ile sinaps yaparak sonlanır (115).

Şuurlu proprioepsiyon duyusunu taşıyan yollar filogenetik açıdan çok yeni olan yollardır.

Medulla spinalis'in funikulus posterior'unda, radix posterior'lar ile gelen afferent liflerin inen dallarının oluşturduğu *fasikülüs interfasikularis* ve *fasikülüs septomarginalis* isimli iki küçük yol vardır. Fasikülüs interfasikularis medulla spinalis'in servikal ve torakal segmentlerinde, fasikülüs septomarginalis ise lumbal segmentlerde bulunur. Ayrıca nükleus grasilis ve nükleus küneatus'tan başlayarak aynı tarafta aşağıya inen ve bütün medulla spinalis segmentlerine ulaşan inen liflerin varlığı bilinmektedir. Bu inen yolların, bazı duyuların neuroaxis'in üst seviyelerine gidişini düzenlediği düşünülmektedir (115).

Traktus Spinocerebellaris Posterior

Şuuraltı proprioepsiyon duyusu ile ilgili olan bu yol, direkt olarak serebral kortekse ulaşmayıp serebellumda sonlandığı için, taşıdığı duyular şuura ulaşmaz. Bu yola ait birinci nöronlar ganglion spinale'lerde bulunur. Bu nöronların periferik uzantıları proprioseptörlerden aldığı impulsları santral uzantıları aracılığı ile medulla spinalis'e taşır. Bu yol ile ilgili aksonlar, lamina VII içerisinde bulunan nükleus torasikus posterior (Clarke nükleusu)'daki ikinci nöronlar ile sinaps yapar (12, 81, 101) (Şekil 2.26).



Şekil 2.26: Şuuraltı proprioepsiyonun yolları

Nükleus torasikus posterior, medulla spinalis'in sadece C8-L2 segmenleri arasında bulunur. Nükleus torasikus posteriordaki ikinci nöronların uzantıları, aynı tarafta funikulus lateralisin arka kısmında bulunan traktus spinoserebellaris posterioru oluşturur. Traktus spinoserebellaris posterior, medulla oblongatada pedunkulus serebellaris inferior'dan geçerek serebelluma gelir ve vermis serebelli'nin çeşitli kısımlarında sonlanır. Vermis serebelli'nin ön kısmına ulaşan lifler I-IV numaralı lobbuluslarda vermis serebelli'nin arka kısmına ulaşan lifler ise esas olarak piramis vermis ve lobulus paramedianus'ta sonlanır. Nükleus torasikus posterior, medulla spinalis'in sadece C8-L2 segmentleri arasında bulunduğu için, L2 seviyesinin altındaki segmentlerden gelen birinci nöronların santral uzantıları fasikülüs grasilis'e katılarak L2 seviyesine kadar yükselir ve bu seviyenin üzerinde bulunan nükleus torasikus posterior'daki ikinci nöronlar ile sinaps yaparlar. C8 seviyesinin üzerindeki segmentlerden gelen birinci nöronların santral uzantıları ise, fasikülüs küneatus içerisinde yükselerek medulla oblongata'da bulunan nükleus küneatus aksesorius'ta sinaps yaparlar. Buradaki nöronların aksonları traktus küneoserebellaris adı verilen başka bir yol oluşturur. Ancak, nükleus torasikus posterior'a C5-C7 segmentlerinden de afferent aksonların geldiği gösterilmiştir (115).

Traktus spinoserebellaris posterior, fonksiyonel olarak daha çok gövde ve alt ekstremiteler ile ilgilidir. Bu yol, postür ve ekstremiteler hareketleri sırasında, kasların koordinasyonu için gerekli impulsları taşır. Bu yolun lezyonlarında, taşıdığı impulslar serebral kortekse ulaşmadığı için ve aynı duyuları kortekse taşıyan başka yollar olduğundan belirgin klinik bir bulgu gözlenmeyebilir.

Traktus Spinoserebellaris Anterior

Şuuraltı propriosepsiyon duyusu ile ilgili olan bu yol, direkt olarak serebral kortekse ulaşmadığından taşıdığı duyular şuura ulaşmaz. Bu yolun birinci nöronları ganglion spinale'lerde bulunur. Bu nöronların periferik uzantıları proprioseptif duyular ile ilgili reseptörlerden aldıkları impulsları hücre gövdesine taşırlar. Santral uzantıları ise lamina V, VI, VII'deki ikinci

nöronlar ile sinaps yaparlar. Bu yol ile ilgili ikinci nöronlar, medulla spinalis'in sadece lumbal, sakral ve koksigeal segmentlerinde bulunur. Bu nedenle traktus spinoserebellaris anterior, fonksiyonel olarak alt ekstremiteler ile ilgilidir. Bu yola ait ikinci nöronların uzantıları kommissura alba anterior'dan karşı tarafa geçerek funikulus lateralis içerisinde ve traktus spinoserebellaris posteriorun önünde yükselen traktus spinoserebellaris anterioru oluştururlar. Traktus spinoserebellaris anterior, pons'un üst seviyelerinde pedinkulus serebellaris superior'dan geçerek vermis serebellinin I-IV numaralı lobuluslarında sonlanır. Ancak liflerin bir kısmı üst servikal segmentlerde traktus spinoserebellaris posteriora katılarak pedinkulus serebellaris inferior aracılığı ile serebelluma gider. Traktus spinoserebellaris anteriora ait bazı liflerin karşı tarafa geçmeden ipsilateral vermis serebelli'de sonlandığı gösterilmiştir.

Traktus spinoserebellaris posterior ile taşınan impulslar bir kastan veya ortak bir eklem etrafında hareket yaptıran sinerjistik kas gruplarından gelir. Traktus spinoserebellaris anterior ise alt ekstremitelerde birkaç segmenti içeren geniş duyu bölgelerinden gelen proprioseptif impulsları taşır. Bu nedenle traktus spinoserebellaris posterior koordine hareketlerin yapılabilmesi için gerekli impulsları taşırken, traktus spinoserebellaris anterior koordine bir hareketin yapılması sırasında ekstremitenin pozisyonu postür ile ilgili bilgileri taşır (12, 115).

Traktus Küneoserebellaris

Üst ekstremiteden gelen şuurlu propriosepsiyon duyusu ile ilgili olan bu yolun birinci nöronları ganglion spinale'de bulunur. Fonksiyonel olarak traktus spinoserebellaris posterior'a benzeyen bu yolun birinci nöronlarının santral uzantıları, medulla spinalis'in C8 seviyesi üzerinde nükleus torasikus posterior (Clarke nükleusu) bulunmadığı için, aynı taraftaki fasikülüs küneatus'a katılır ve medulla oblongata'da bulunan nükleus küneatus aksesorius'a gider. Traktus küneoserebellaris'in ikinci nöronlarının bulunduğu nükleus küneatus aksesorius, medulla spinalis'in C8-L3 segmentleri arasında bulunan nükleus torasikus posterior'un eşdeğeri'dir. İkinci nöronların aksonları fibra arkuata eksterna posteriores adını alır ve ipsilateral pedinkülüs

serebellaris inferior'dan geçerek serebellar korteksin V numaralı lobulusunda son bulur (115).

Traktus Spinoolivaris Anterior ve Posterior

Genel olarak proprioseptörlerden ve bazı eksteroseptörlerden alınan impulsları taşıyan bu yol, spinoserebellar sistemin bir parçasını oluşturur. Traktus spinoolivaris'le ilgili birinci nöronların santral uzantılarının bir kısmı muhtemelen lamina IV, V, VII ve VIII'deki ikinci nöronlar ile sinaps yaparlar. İkinci nöronların aksonları komissura alba anterior'dan karşı tarafa geçerek medulla spinalis'in anterolateral kısmında *yükselen traktus spinoolivaris anterior*'u oluşturur. Bu yol ile ilgili aksonlar, nükleus olivaris aksesorius posterior ve nükleus olivaris aksesorius medialis'te sonlanır. Birinci nöronların santral uzantılarının bir kısmı ise ipsilateral funikulus posterior içerisinde, *traktus spinoolivaris posterior* adını alarak yükselir ve medulla oblongata seviyesinde nükleus gracilis ve nükleus küneatus'taki nöronların aksonları da karşı tarafa geçerek nükleus olivaris aksesorius posterior ve nükleus olivaris aksesorius medialis'te sonlanır (50).

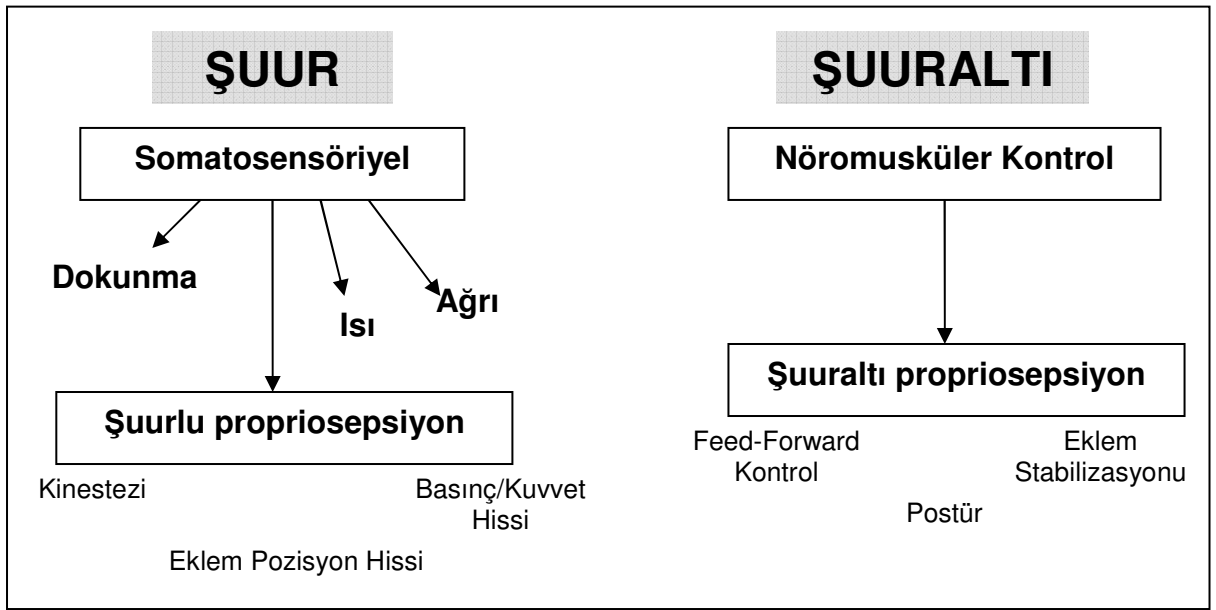
Nükleus olivaris aksesorius posterior ve medialis'ten başlayarak karşı tarafa geçen liflerin oluşturduğu *traktus olivoserebellaris*, pedinkulus serebellaris inferior'dan geçer ve lobus serebelli anterior'da sonlanır. Böylece traktus spinoolivaris anterior, posterior ve traktus olivoserebellaris spinal seviyelerden serebelluma impuls taşıyan diğer bir yol oluşturur (51, 81).

Traktus Servikospinoserebellaris

C1-C4 segmentlerinde lamina VII'deki nükleus servikalis santralis'te bulunan ikinci nöronların aksonları traktus servikospinoserebellaris'i oluşturur. Boyun kaslarından gelen şuuraltı proprioseptif duyular ile ilgili olan bu yol, pedinkulus serebellaris superior'dan geçerek kontralateral serebellumda sonlanır.

2.2.6 Proprioepsiyonun Komponentleri

İnsanda proprioepsiyon üç ana duyudan oluşur: kinestezi, eklem pozisyon hissi ve nöromusküler kontrol. İlk ikisi kortikal etkileşimler aracılığıyla bilinçli olarak algılanmasına ve kontrol edilmesine karşın sonuncusu primer olarak bir eklemin spinal ve serebellar düzeyde şuuruz veya şuuraltı kontrolüdür. Dahası, bilinçli duyular kas içciklerinden ve bir dereceye kadar kutanöz reseptörlerden gelen afferent bilgiler ile etkilenirken, sonuncusu ek olarak intra-artiküler sinir sonlanmalarından gelen bilgi ile de desteklenir (12, 38) (Şekil 2.27).



Şekil 2.27: Proprioepsiyonun komponentleri

Kinestezi:

“Kinestezi” terimi ilk kez Bastian tarafından 19. yüzyılda ekstremiteler ve gövdenin hem pozisyon hem de hareketini algılayabilme yeteneği olarak tanımlanmıştır. O zamanlar bu terim hem kinestezi hem de eklem pozisyon hissi için kullanılmıştır. Yakın zamanda iki duyunun bir olarak kabul edildiği bu konsept terk edilmiştir (38, 48).

Kinestezi bir eklemin (veya bir ekstremitenin) hareketini algılama yeteneği olarak tanımlanan ayrı bir duyudur. Günümüzde yapılan derinlemesine araştırmalarla bu duyunun deri reseptörlerinin de katkısı ile

primer olarak kas içciklerinin aksiyonu sonucunda kas içciğinin hareketi algılama duyarlılığının kısıtlanması ile uyarıldığı kanıtlanmıştır.

Deri reseptörlerinin, parmakları kontrol eden kaslar eklemin kendisinden uzakta, ön kol ve elde olduğundan özellikle parmak eklemlerinin kinesteziinde primer öneme sahip olduğu gösterilmiştir. Eklem reseptörlerinin de benzer şekilde bir kas birden fazla eklemi kat ettiğinde önemli oldukları ve böylece kas içciğinin hareketi algılama duyarlılığını kısıtladığı düşünülmektedir (15).

Kinestezi duyusu aynı zamanda tendonların vibrasyonu ile de farklı şekilde etkilenir, bu da kas içciği afferentlerini tetikler. Örneğin tendonlar üzerine uygulanan vibrasyonun illüzyonel eklem hareketi (60) ve kinestezi ile ilgili alanlarda kortikal değişiklikler ortaya çıkardığı göstermiştir (23). Hatta tek taraflı el bileği ekstensör tendon vibrasyonunun el bileği hareketinde bilateral kinestetik illüzyona yol açtığı gösterilmiştir (60).

Pratikte, kinestezi duyusu eklem hareketinde bilinçli farkındalık ortaya çıkarmak için gerekli en küçük değişiklik olarak ölçülür. Proprioepsiyon eğitiminde sıklıkla kullanılan terminoloji “Pasif Hareketi Algılama Eşiği”dir.

Pasif hareketi algılama eşiğinin proprioepsiyon eğitiminde kullanma deneyimlerine dayanarak, hastanın eklemi belirli bir açıda yerleştirildiği ve daha sonra pasif ve yavaş olarak ekstremite hareketinin oluştuğunu bildirene kadar $0,5^{\circ}$ - 2° /sn hızda hareket ettirdiği söylenebilir. Ekstremitte hareketinin algılanması yüzeysel girdiden büyük oranda etkilendiğinden ölçüm esnasında kişilerin gözleri kapalı olmalıdır. Ek olarak, eklem hareketinin hızını ve açısını yeteri kadar kontrol edebilmek için “Upper Limb Exerciser” veya “Biodex Dynamometer” gibi profesyonel egzersiz aletleri kullanılması önerilir (38).

Eklem Pozisyon Hissi:

Eklem pozisyon hissi kinesteziden farklı bir duyudur. Her ne kadar her ikisi de kas içciklerinin aktivasyonundan etkilense de santral sinir sisteminde işlenmesi ve yorumlanması birbirinden ayrıdır. Dahası tendon vibrasyonu kinesteziinin algılanmasında anlamlı değişimlere yol açmasına rağmen aynı eklem pozisyon hissi için gösterilmemiştir. Bunun yerine pozisyon algısı kas

komutları ve kondisyonundan etkilenir. Örneğin, bir dirsek fleksiyonda iken dirsek fleksörlerini; diğer dirsek ekstansiyonda iken dirsek ekstansörlerini çalıştırmak iki kol arasında 20°'ye varan eklem pozisyon hissi hatasına yol açar (62).

Propriosepsiyon eğitiminde, eklem pozisyon hissi spesifik eklem açısını tekrar edebilme yeteneği olarak tanımlanır, pasif ya da aktif veya gözler açık ve kapalı olarak değerlendirilebilir. Pasif eklem pozisyon hissinde terapist eklemi hareket ettirir ve hasta hedef açığa geldiğini hissettiğinde terapistte bildirir. Aktif eklem pozisyon hissinde hastadan eklemi aktif olarak önceden tanımlanmış olan hedef pozisyona getirmesi istenir. Eklem pozisyon hissi egzersizlerinin sonuçları spesifik bir eklem açısını tanımlama keskinliğini gonyometre kullanılarak kolayca değerlendirilebilir. Uygulaması ve değerlendirmesi kolay olmasına rağmen eklem pozisyon hissi gözlemciler arası varyasyonun fazla ve güvenilirliğinin yetersiz olması nedeni ile bilimsel tekniği eleştirilmektedir (33, 38).

Şuursuz Proprioepsiyon ve Nöromusküler Duyu

Şuursuz proprioepsiyon duyusu daha önce belirtildiği gibi nöromusküler duyuyu oluşturur. Bu duyunun bileşenleri, bir eklem etrafındaki kasların feed-forward kontrolü olduğu gibi, şuursuz olarak optimal bir postürün sürdürülmesi, eklem stabilitesinin ve dengesinin devamıdır. Nöromusküler duyu asıl olarak spinal refleksler tarafından acil eklem kontrolünden oluşur. Ayrıca eklem kontrolünde planlama, sezme ve uygulama gibi görevlerde serebellum ile entegrasyon içindedir. Bu yüzden eklem nöromusküler kontrolünün niceliği değerlendirmek çok zor olsa da, bu duyu eklem stabilizasyonunda şüphesiz en büyük öneme sahiptir (12, 125).

Vibrasyon Duyusu (Pallestesi)

Vibrasyon duyusu, belirli kemiksi çıkıntılar üzerine salınımlı bir diyapazonu koyduğunuzda, titreşimi algılayabilme becerisidir. Klinik açıdan, özel bir duyu çeşidi olarak düşünülebilir; ancak, büyük olasılıkla, diğer

duyuların kombinasyonundan kaynaklanır. Kemik, büyük ölçüde rezonatör görevi görür. Titreştirici uyarılara yönelik reseptörler esasen, derinin derinliklerinde, subkutan dokularda, kaslarda, periostta ve daha derindeki diğer vücut yapılarında yer alan Pacini korpüskülleri ve derinin yüzeye daha yakın katmanlarındaki Merkel disk reseptörleri ile Meissner korpüskülleri gibi, çok hızlı adapte olan mekanoreseptörlerdir. Merkel disk reseptörleri ve Meissner korpüskülleri görece düşük frekanslara en iyi tepkiyi verirken, Pacini korpüskülleri daha yüksek frekanslara tepki verir. Diapazonun salınımları kodlu impulslar yaratır; böylece, bir sinüzoidal dalga döngüsü bir hareket potansiyeli oluşturur. Afferent sinir lifindeki hareket potansiyellerinin frekansı vibrasyon frekansını gösterir. Vibrasyon yoğunluğu, aktive olan duyu siniri liflerinin toplam sayısı ile ilişkilidir (15, 51, 115).

İmpulslar büyük, miyelinli sinir lifleri aracılığıyla proprioseptif ve dokunsal duyularla aktarılır ve arka kökün medial bölümü üzerinden omuriliğe girer. Klasik olarak, vibrasyonun arka kolondaki diğer proprioseptif impulslarla omuriliğe ulaştığı düşünülmüştür; ancak, benzer diğer yollar da söz konusudur. Omuriliğe girdikten sonra bazı sinir lifleri arka kolonda yukarı yönelir. Diğerleri ikiye ayrılarak bir kolları arka boynuzun daha derindeki katmanlarına, diğer kolları ise arka kolona uzanır. Arka boynuzda ikinci sıradaki nöronların aksonları, ipsilateral dorso-lateral funikulusta spinoservikal yolda ilerler ve lateral spinal nükleusta sonlanır. Lateral servikal nükleustaki nöronlardan çıkan aksonlar anterior komissürü geçer ve medullaya ulaşır ve burada medial lemniskusa katılır. Dorsolateral funikulustaki lifler, belki de insanda vibrasyon duyusuna yardımcı olan en önemli yolaktır (15).

Vibrasyon, en temel duyulardan biridir; çünkü sinir sistemi hızla değişen bir uyarıyı doğru şekilde algılamalı, iletmeli ve yorumlamalıdır. Demiyelinizasyona bağlı erken fizyolojik değişimlerden biri, ilgili sinir lifinin bir impuls dizisini takip etme becerisini yitirmesine neden olan, sinir refrakter periyodunun uzamasıdır. Bir uyarı dizisini takip edebilme becerisi, gerek periferik gerekse merkezi sinir sisteminde demiyelinizasyon olması durumunda ilk olarak bozulan fonksiyonlardan biridir. Vibrasyon duyarlılığının

test edilmesiyle, bu fonksiyonel beceri ölçülür ve vibrasyon duyusunun kaybı, özellikle herhangi bir derecede demiyelinizasyon varsa, periferik sinir sisteminde veya posterior kolonda işlev bozukluğunun duyuşal bir göstergesidir (51, 81).

İki Nokta Ayırımı

Serebral duyuşal fonksiyonlar, korteksin uyarıları alan primer duyuşal alanları ve uyarıyı yorumlayan ve yerine getiren duyuşal asosiyasyon alanları ile ilgilidir. Bu fonksiyonlara ayrıca ikincil veya kortikal modaliteler de denir. Kortikal duyuşal işlev öncelikle pariyetal lobların fonksiyonudur. Pariyetal kompleks primer duyuşal bilgiyi alır, ilişki kurar, sentezler ve eler. Ağrı veya sıcaklık gibi fazla hassas olmayan, talamusun kontrolündeki duyuşlarla ilgilenmez. Aynı zamanda lokalizasyon, uzaysal konum ve ilişkileri tanımlama, pasif hareketleri değerlendirme, şekil, ağırlık ve iki boyutlu özellikler arasındaki farkları anlamada da korteksin rolü önemlidir. Klinik olarak en önemli kortikal modaliteler stereognozi, grafestezi, iki-nokta ayırımı, duyuşal dikkat ve diğer gnostik veya tanıma fonksiyonlarıdır (15).

İki-nokta veya uzaysal ayırım yeteneği, gözler kapalı olarak, tek noktadan kutanöz uyarı ile iki notadan kutanöz uyarıyı ayırt edebilme yeteneğine denir. İki nokta ayırımı kuvvetli bir taktil hassasiyet gerektirir. Yan yol temel olarak posterior kolon ve medial lemnisküs boyuncadır. Diğer diskriminatif taktil ve proprioseptif duyuş kaybı olmaksızın ortaya çıkan iki nokta ayırım kaybı karşı taraf pariyetal lob lezyonunun en belirgin işareti olabilir (83, 107).

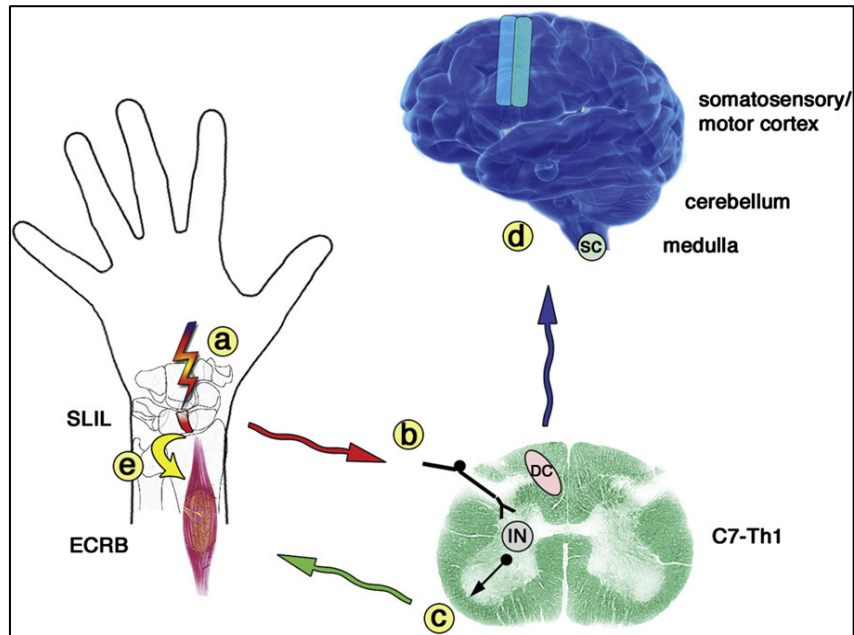
Bu duyuşu test etmenin en iyi yöntemi bu amaç için tasarlanmış olan iki-nokta ayırım diskriminatörü veya kumpasıdır. Sıklıkla kullanılan diğer yöntemler, iki noktanın değişik uzaklıklarda ayarlanmış elektrodyagramlar ve "V" şekli verilmiş bir kağıt klipstir.

Bu mesafe vücudun farklı bölgelerinde oldukça değişkenlik gösterir. Dilin ucunda iki nokta ayırımı normalde yaklaşık 1 mm, dudaklarda 2-3 mm, parmak uçlarında 2-4mm, parmak sırtında 4-6 mm, avuç içinde 8-12 mm, el sırtında 20-30 mm, ve ayak sırtında 30-40 mm'dir. Önkol, kol, gövde, baldır

ve bacaklarda daha fazla mesafe gerekir. Vücudun iki tarafından elde edilen bulgular her zaman karşılaştırılmalıdır (15, 83).

2.2.7 El Bileğinde Proprioepsiyon

Bir eklemin proprioseptif fonksiyonu olması için belli başlı anatomik ve fizyolojik yapıların mevcut olması şarttır. Kısaca; eklem basıncına, harekete ve hıza duyarlı end organların eklem ligamentlerinde ve/veya kapsülünde var olması gerekir. Uyarıldıklarında, bu yapılar, spinal kordun arka boynuzuna afferent sinyaller taşırlar ve bu bilgiler iki yola ayrılır. İvedi yolak, eklem çevresindeki kasların hızlı kontrolünü sağlayan arkadan ön boynuza uzanan monosinaptik reflekslerdir. İkinci yolak ise spinal korddan supraspinal merkezlere dorsolateral ve spinoserebellar traktlar vasıtası ile bilgi taşıyan lokal ve/veya segmental polisinyaptik oluşumlardır (33, 38) (Şekil 2.28).



Şekil 2.28: El bileğinde proprioepsiyonun iletimi

Bazı bilgiler proprioepsiyon ve somatosensasyon kompleks etkileşiminin ve eklem şuuraltı nöromusküler kontrolünün primer lokalizasyonu olan serebelluma transfer edilir. Ayrıca bu bilgiler eklem hareketinin algılandığı şuurulu bölgeler olan primer motor ve duyuşal kortekse ulaşır.

El bileğindeki mekanoreseptörlerin varlığı ilk olarak Petrie ve ark. tarafından rapor edilmiştir. Altın-klörür boyama tekniği ve ışık mikroskobu kullanılarak üç volar el bileği ligamentinde mekanoreseptif sinir sonlanmaları tanımlanmıştır. Analiz edilen ligamentlerde 1/3 ila 1/4 oranında mekanoreseptörlere rastlanmıştır (12, 38, 98).

Yapılan çalışmalarda farklı ligamentlerin farklı innervasyon oranları olduğu gösterilmiştir (Tablo 2.2). Bazı ligamentler mekanoreseptör ve serbest sinir sonlanmaları yönünden oldukça zengin iken, bazılarında oldukça azdır. Sinir sonlanmaları başlıca kemik içerisine insersiyon yapan ligamentlerde bulunur. Yüksek sertlikteki bu ligamentlerin reseptörleri yalnızca eklemin ileri açılarında uyarılırlar. Sinir sonlanmaları başlıca kemik içerisine insersiyon yapan, ligament içerisindeki yüksek sertlikteki kollajen liflerinin yalnızca ileri eklem açılanmalarında reseptörleri uyarmasını sağlayan ligamentlere yakın bulunur. Özellikle dorsal radiokarpal ve dorsal interkarpal ligamentler gibi daha uzun el bileği ligamentlerinde, mekanoreseptörler ayrıca daha kolay stimüle edilebildikleri ve böylece el bileği hareket açıklığı boyunca sinyal yollayabildikleri esnek epifasiküler bölgelerde de bulunurlar (24, 29).

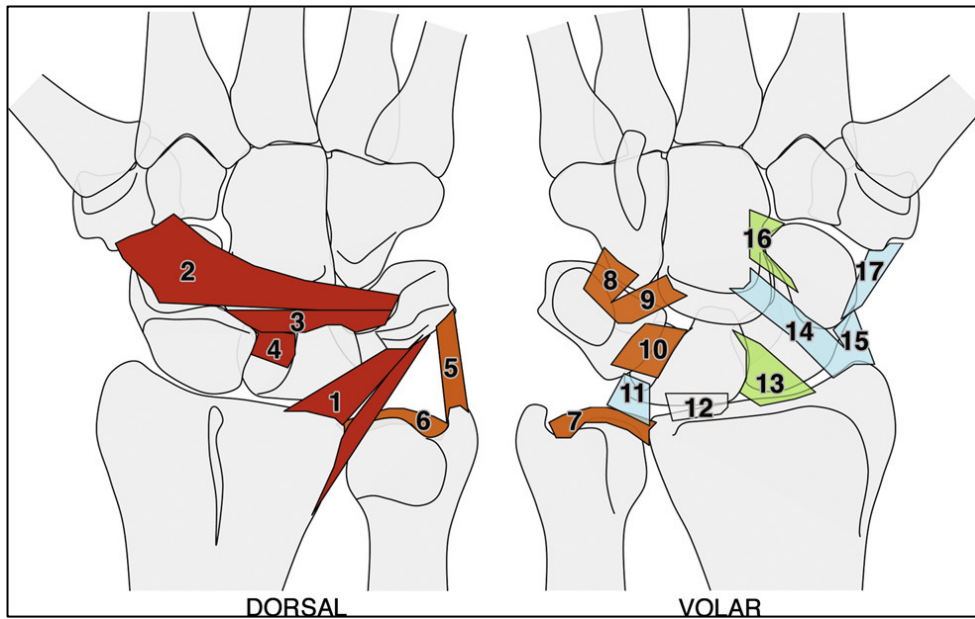
Tablo 2.2 El bileği ligamentlerinin yarı-niceliksel tahmini innervasyon dereceleri

	1.kad.	2.kad.	3.kad.	4.kad.	5.kad.	ortalama	Cins
<i>Dorsal Radiokarpal</i>	+++	+++	+++	+++	+++	3	B
<i>Dorsal Interkarpal</i>	+++	+++	+++	+++	+++	3	B
<i>Skafotriquetral</i>	+++	+++	++	+++	+++	2,8	B
<i>Dorsal Skafolunat interosseal</i>	+++	++	+++	+++	++	2,6	B
<i>Skafotrapeziotrapezoid</i>	++	+	++	+	++	1,6	O
<i>Radioskafoid</i>	++	++	+	++	+	1,6	O
<i>Skafokapitat</i>	-	++	+	++	++	1,4	O
<i>Radioskafokapitat</i>	-	++	+	+	+	1	S
<i>Uzun Radiolunat</i>	++	+	-	+	+	1	S
<i>Kısa Radiolunat</i>	-	-	+	+	++	0,8	S
<i>Ulnolunat</i>	+	++	-	-	+	0,8	S
<i>Palmar Lunotriquetral interosseal</i>	+	-	-	+	+	0,6	N
<i>Triquetrokapitat</i>	-	-	-	+	+	0,4	N
<i>Trikuetrohamat</i>	-	+	-	-	-	0,2	H

+++ Sinir ağları ve mekanoreseptörlerden zengin, ++ Sadece mekanoreseptör yada sinir fasikülü var, + Hiç sinir fasikül yok sadece mekanoreseptör var, - Hiç innervasyonu yok.
Cins: B (Belirgin), O (Orta düzeyde), S (Sınırlı), N (Neredeyse yok) H (hiç)

El bileğinde dorsal ve triquetral (dorsal radiokarpal, dorsal interkarpal, skafolunat, palmar lunotriquetral ve triquetrokapitat/hamat ligamentler) ligamentlerdeki innervasyonun daha fazla olduğu söylenmektedir (14).

Bunun yanında radial ve volar ligamentler sıkı ve yoğun kollajen liflerden oluşmuştur ve neredeyse hiç innervasyonu yoktur. Bu enteresan yapılanma, el bileğindeki farklı ligamentlerin farklı fonksiyonları olduğunu göstermektedir. Yoğun ve güçlü yapıda olan radial kolondaki ligamentler, aksiyel yükleri karşılayacak şekilde dizayn edilmiştir. Dorsal ve triquetral ligamentler ise radiokarpal ve midkarpal eklemdaki hareketleri algılayıp transfer eden, sensöriyel açıdan önemli yapılardadır (41) (Şekil 2.29).



Şekil 2.29: El bileği ligamentlerinin mekanoreseptör ve sinir yoğunlukları
Renkler ligamentlerdeki mekanoreseptör ve sinir yoğunluğunu temsil etmektedir. Kırmızı: En yoğun, Turuncu:Yoğun, Mavi:Orta, Yeşil:Seyrek

1: Dorsal radiokarpal, 2:Dorsal interkarpal, 3:Skafotriquetral, 4:Skafolunat interosseal, 5:Ulnar kollateral
6:Dorsal radioulnar, 7:Volar radioulnar, 8:Triquetrohamat, 9:Triquetrokapat, 10:Palmar lunotriquetral,
11:Ulnolunat, 12:Kısa radiolunat, 13:Uzun radiolunat, 14:Radioskafokapat, 15:Radioskafoid, 16:Skafokapat,
17:Skafotrapeziotrapezoid.

El bileği ligamanlarının bu anatomik ve fizyolojik düzenlemesi kısa süre önce IFSSH (International Federation of Societies for Surgery of the Hand) komitesi tarafından el bileğinin “dart atma hareketi” ile açıklanmıştır. Raporlarında skafotrapezoidotrapezoid (STT) ve skafokapat (SC) adı verilen skafoidin distal kutbunu stabilize eden ligamanlar dart atma hareketini yönlendirme ve sınırlamada mekanik olarak önemli olarak kabul edilmektedir. Aksine dart atma hareketinin en son durağı olan zengin bir şekilde innerve olmuş DIC ve volar triquetro-kapito-hamat ligamanların (TqCH) DTM’de aktif

olan kaslara (primer olarak fleksor karpi ulnaris-FCU ve ekstansör karpi radialis brevis/longus-ECRB/L) duysal bir feedbackte önemli olduğu sanılmaktadır (18).

2.2.8 Proprioepsiyonun Değerlendirilmesi

Proprioepsiyon duysunu ve sistemlerini tam olarak değerlendirebilmek ve ölçebilmek henüz mümkün değildir. Özellikle de aferent iletilerin serebellar ve kortikal sistemlerdeki yorumlanmasının ve uygun cevap oluşturulmasının değerlendirmesi yapılamamaktadır.

Günümüzde; kinestezi, eklem pozisyon hissi, postür, denge, eklem stabilizasyonu, hedef kuvvet tekrarı gibi proprioepsiyonun komponentleri olan parametreler direk ya da dolaylı olarak değerlendirilmekte ve bu sonuçlara göre proprioepsiyon kalitesi yorumlanmaktadır.

Kinestezi Değerlendirilmesi: “Kinestezi” terimi ilk kez 19.yy’ın sonlarında yaşamış Bastian tarafından ortaya atılmıştır (32, 82) ve ekstremite ya da eklem hareketi algılaması olarak tanımlanmıştır. Kinestezi duysundan asıl olarak kas içiği sorumlu olduğu gibi deri reseptörleri de bu duysuyu etkilemektedir (108).

Pratikte kinestezi hissi birim zamanda eklem asgari hareket derecesinin algılanmasıyla ölçülür ($\Delta\%$ /sn) ve çalışmalarda genellikle “pasif hareketi algılama eşiği” olarak kullanılır. Eklem hareketinin derecesini ve hızını tam olarak kontrol etmek için gelişmiş egzersiz cihazları veya Biodex Dinamometreler kullanılmaktadır (33, 38).

Eklem Pozisyon Hissi Değerlendirmesi: Kinestezi ve eklem pozisyon hissi duysunun her ikisi de kas içiğinin aktivitesinden köken almakta olsa da, her iki duyunun santral işlenmesi ve yorumlanması birbirinden farklıdır.

Eklem pozisyon hissi; eklem açısını bir model üzerinde taklit etme ile değerlendirilebildiği gibi belirli bir açıdaki eklem aktif veya pasif olarak aynı pozisyonu tekrarlayabilme yetisi ile ölçülmektedir. Belirlenen hedef açığı tekrarlararken yapılan hata azaldıkça eklem pozisyon hissi duysunun kalitesi

artmaktadır. Bunun için dizayn edilen özel gonyometreler, inklinometreler, kameralı sistemler ve dijital açıölçerlerden yararlanılabildiği gibi üç boyutlu hareket analiz düzenekleri kullanılmaktadır (27, 28, 38).

Kuvvet hassasiyeti ya da hedef kuvvet tekrarı: Önceden belirlenen bir belli bir kuvvet miktarını bireyin uygulaması ve daha sonra o kuvveti tekrar kabiliyeti olarak tanımlanmakta ve proprioepsiyonun bir komponenti olarak kabul edilmektedir (19, 112). Ayrıca, ağırlık tahmini keskinliği de bu duyunun bir parçası olarak kabul edilmektedir. Bu ölçümlerde, özel olarak düzenlenmiş ağırlık sistemlerinden, dinamometrelerden, kas kuvvetini sayısal olarak değerlendiren cihazlardan ve izokinetik sistemlerden yararlanılmaktadır. Kişiyeye belirli bir hedef kuvvet önce denetilmekte ve daha sonra aynı kuvveti tekrar etmesi istenilmektedir. Hedef kuvvet ile kişinin uyguladığı kuvvet arasındaki fark hata miktarını temsil eder (65).

Denge ve postürün kalitesi proprioepsiyon sisteminin kusursuz çalışması ile mümkün olmaktadır (17, 46). Dolayısıyla; dengeyi test eden, duyu organizasyonu, ritmik ağırlık aktarma gibi komponentleri değerlendiren dinamik postürografi cihazlarından yararlanılmaktadır (5, 95).

Proprioepsiyon değerlendirmesinde kullanılan diğer bir yöntem; monosinaptik ve polisaptik reflekslerin ölçümü ile yapılmaktadır. Belirli bir kas veya ligamente yapılan stimülasyonların cevapları incelenerek değerlendirilmektedir. Nörofizyoloji laboratuvarlarında elektromyografi cihazları ile subkutan ve perkutan ölçümler yapılmaktadır. Ayrıca; bu konuda yapılan hayvansal deneyler, proprioepsiyon çalışmalarına ışık tutmaktadır.

Tüm bunlara ek olarak, histolojik ve sitolojik bir çok proprioepsiyon araştırmaları yapılmaktadır. Kaslarda, ligamentlerde, tendonlarda ve sinirlerdeki bir çok proprioseptif reseptörler ve bunların spesifik yapılarıdaki sayısı, yoğunluğu ve organizasyonu bir çok araştırmaya konu olmaktadır.

3. BİREYLER VE YÖNTEM

Farklı fizyoterapi-rehabilitasyon uygulamalarının el bileği propriosepsiyonuna olan etkilerini araştırmak üzere düzenlenen bu çalışmaya 60 sağlıklı birey katılmıştır.

Bu tez alışması, Hacettepe Üniversitesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu tarafından incelenmiş ve *LUT 12/132* karar no ile çalışmanın etik uygunluğuna karar verilmiştir.

3.1 Bireyler

Çalışmaya katılan tüm bireylere araştırma hakkında detaylı bilgi içeren ve kişilerin anlayacağı bir dilde hazırlanan aydınlatılmış onam formu okutularak ve imzaları alınmıştır. Ayrıca bireylere çalışma hakkında sözel olarak bilgi verilmiştir. Bireylerin iletişim ve demografik bilgileri kayıt altına alındığı ve tüm haklarının saklı tutulduğu bildirilmiştir. Araştırmanın herhangi bir safhasında gönüllünün isterse araştırmadan kendi isteği ile ayrılabilereği belirtilmiştir.

Çalışmaya 60 sağlıklı, gönüllü birey katılmıştır. Çalışmamıza seçilen gönüllüler; ortopedik veya nörolojik bir hastalık geçmişi öyküsü olmayan, normal görme ve duyma yetisine sahip, el ve el bileğinde ve çevresinde herhangi bir yara, nasır veya skarı bulunmayan, sağlıklı kişilerden seçilmiştir ve aşağıdaki gibi rastgele dört gruba ayrılmıştır.

Grup I: Kontrol grubu (n=15)

Grup II: Vibrasyon grubu (n=15)

Grup III: Egzersiz grubu (n=15)

Grup IV: Proprioseptif eğitim grubu (n=15)

Çalışma kriterlerine uygun olup katılmayı kabul eden tüm gönüllü bireylerin adı, soyadı, cinsiyeti, doğum tarihi, boyu, ağırlığı, dominant eli ve iletişim bilgileri kaydedilmiştir.

3.2 Yöntem

Tüm gruplardaki bireylere el bileği eklem pozisyon hissi (EPH) değerlendirmesi, kavrama hassasiyeti değerlendirmesi, elin basınç hassasiyeti değerlendirmesi, duyu eşiği değerlendirmesi ve iki nokta ayırımı (diskriminasyonu) değerlendirmesi yapılmıştır. İkinci gruptaki bireylere el bileği vibrasyon uygulaması, üçüncü gruptaki bireylere 3 hafta boyunca geleneksel el bileği kuvvetlendirme egzersizleri, dördüncü gruptaki bireylere el bileği proprioepsiyonunu geliştirici çeşitli egzersizler ve uygulama yöntemleri kullanılmıştır. Uygulamalar sonrası yukarıdaki değerlendirmeler tekrarlanmıştır. Değerlendirilen parametrelerde zamana bağlı değişim olup olmadığını belirlemek amacıyla 3 hafta sonra birinci gruptaki bireylere aynı ölçümler tekrarlanmıştır. Tablo 3.1'de çalışmamızın yöntemi özetlenmiştir. (Çalışma yönteminin detayları, ilerideki sayfalarda anlatılmıştır.)

Tablo 3.1: Çalışmadaki gruplar ve uygulamalar (özet tablo)

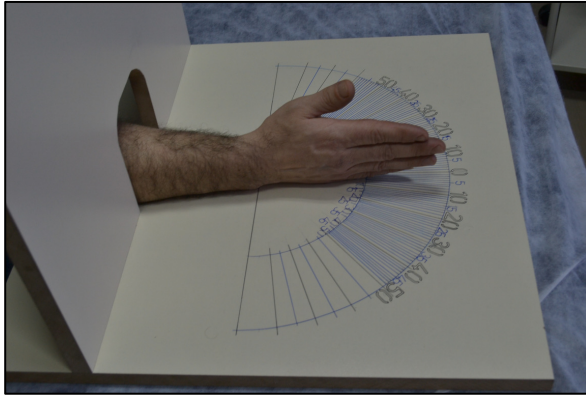
GRUPLAR	Parametreler (ÖNCE)	Uygulama	Parametreler (SONRA)
Grup I (Kontrol grubu)	1. El bileği EPH 2. Kavrama hassasiyeti 3. Elin basınç hassasiyeti 4. Duyu eşiği testi 5. İki nokta ayırımı testi		1. El bileği EPH 2. Kavrama hassasiyeti 3. Elin basınç hassasiyeti 4. Duyu eşiği testi 5. İki nokta ayırımı testi
Grup II (Vibrasyon grubu)	1. El bileği EPH 2. Kavrama hassasiyeti 3. Elin basınç hassasiyeti 4. Duyu eşiği testi 5. İki nokta ayırımı testi	El bileğine vibrasyon Uygulaması	1. El bileği EPH 2. Kavrama hassasiyeti 3. Elin basınç hassasiyeti 4. Duyu eşiği testi 5. İki nokta ayırımı testi
Grup III (Egzersiz grubu)	1. El bileği EPH 2. Kavrama hassasiyeti 3. Elin basınç hassasiyeti 4. Duyu eşiği testi 5. İki nokta ayırımı testi	3 hafta el bileği kuvvetlendirme egzersizleri	1. El bileği EPH 2. Kavrama hassasiyeti 3. Elin basınç hassasiyeti 4. Duyu eşiği testi 5. İki nokta ayırımı testi
Grup IV (Proprioseptif egzersiz grubu)	1. El bileği EPH 2. Kavrama hassasiyeti 3. Elin basınç hassasiyeti 4. Duyu eşiği testi 5. İki nokta ayırımı testi	3 hafta el bileği proprioepsiyon egzersizleri	1. El bileği EPH 2. Kavrama hassasiyeti 3. Elin basınç hassasiyeti 4. Duyu eşiği testi 5. İki nokta ayırımı testi

3.2.1 El Bileği EPH Değerlendirmesi:

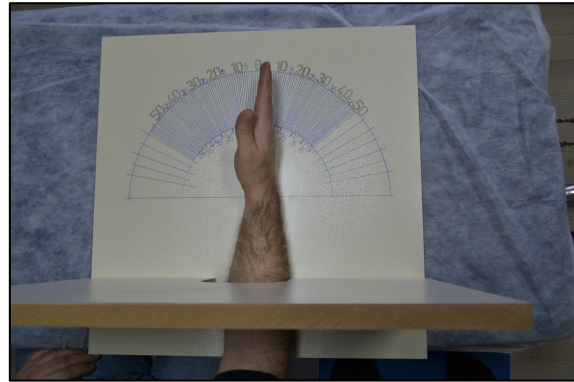
El bileği EPH değerlendirmesi önceden belirlenen hedef açığı aktif hareketle tekrarlama esasına göre yapılmıştır (3, 29, 50).

Resimde ayrıntıları görünen, el bileği fleksiyon-ekstansiyon ve radial-ulnar deviasyon hareketleri EPH değerlendirmesinde kullanılan ve 1° hassasiyetinde olacak şekilde dizayn edilen gonyometrik platform özgün olarak yazar tarafından geliştirilmiştir.

Ölçümler el bileğinin tüm hareket eksenlerinde (fleksiyon-ekstansiyon, radial-ulnar deviasyon) yapılmıştır. Hedef açılar; fleksiyon-ekstansiyon için 30° , radial deviasyon için 10° , ulnar deviasyon için 15° olarak belirlenmiştir (40) (Şekil 3.1-2).



Şekil 3.1: EPH ölçüm gonyometresi (yandan görünüm)



Şekil 3.2: EPH ölçüm gonyometresi (üstten görünüm)

Ölçümde, kişinin el bileği istenilen açığa pozisyonlandıktan sonra bu pozisyonu hafızasında tutması ve daha sonra aynı pozisyona getireceği söylenmiştir. Bu pozisyonda 3 saniye beklendikten sonra nötral pozisyona dönmüş ve kişiden elini hedef pozisyona getirmesi istenmiştir. Bireyin el bileği pozisyonunun açısı not edilip, hedef açı ile arasındaki farkın mutlak değeri “EPH hata miktarı” olarak kaydedilmiştir.

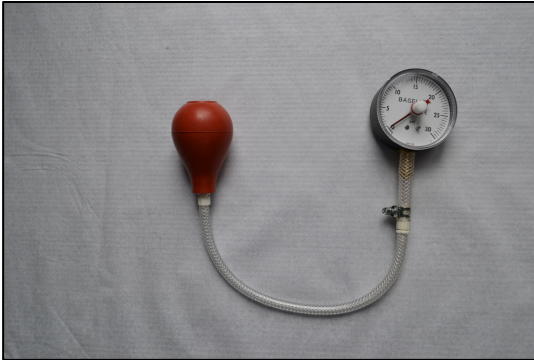
Tüm hareket eksenleri ve hedef açılar için üç tekrar randomize olarak ölçülmüş ve üç tekrar hata derecelerinin aritmetik ortalaması hesaplanıp kişinin el bileği proprioepsiyon hata miktarı olarak kaydedilmiştir.

Ölçümler sessiz ve iyi havalandırılmış bir ortamda gerçekleştirilmiştir. Ölçümlere başlamadan önce bireyler uygulama hakkında bilgilendirilmiş ve

bir kaç deneme ölçümü yapıldıktan sonra asıl ölçümlere geçilmiştir. Bireylerin yorgunluk ve motivasyon eksikliği durumuna göre 3 dakikayı geçmeyen dinlenme araları verilmiştir.

3.2.2 Kavrama Hassasiyeti Değerlendirmesi:

Baseline Pneumatic Bulb Dynamometer® aleti ile kişinin maksimum kavrama kuvveti ölçülmüş ve bu değer %50'si hedef kuvvet olarak belirlenmiştir. Daha sonra dinamometrenin kuvvet göstergesi kişiye gösterilerek hedef kuvveti uygulaması istenmiş ve bu kuvveti hafızasında tutup tekrar uygulanacağı söylenmiştir. Bu kez bireye dinamometrenin kuvvet göstergesi gizlenerek (gözlemci görecektir şekilde) yine hedef kuvveti uygulaması istenmiş ve hedef kuvvet ile bireyin uyguladığı kuvvet arasındaki farkın mutlak değeri not edilmiştir. Ölçüm üç kez tekrar edilmiş ve hata değerlerinin aritmetik ortalaması hesaplanıp kişinin "kavrama hassasiyet hatası" olarak kaydedilmiştir (19, 112) (Şekil 3.3-4).



Şekil 3.3: *Baseline Pneumatic Bulb Dynamometer®*



Şekil 3.4: Kavrama hassasiyeti değerlendirilmesi

Ölçümlere başlamadan önce bireyler, cihaz ve uygulama hakkında bilgilendirilmiş ve birkaç deneme ölçümlü yapıldıktan sonra asıl ölçümlere geçilmiştir. Ölçümler yine sessiz ve iyi havalandırılan bir ortamda gerçekleştirilmiştir. Gerektiği durumlarda ölçümlere 1-2 dakikalık aralar verilerek bireylerde yorgunluk olmaması sağlanmıştır.

3.2.3 Elin Basınç Hassasiyeti Değerlendirmesi:

Stabilizer Pressure Biofeedback® (SBP) aleti ile bireylerin dominant ellerinin basınç hassasiyeti değerlendirilmiştir (60, 84). SBP aleti önce 20 mmHg'ye kadar şişirilmiştir. Birey oturur pozisyonda iken elin ayası ile aletin basınç hücrelerine uygulayabildiği maksimum basınç ölçülmüştür. Daha sonra maksimum basınç kuvvetinin yarısı hedef basınç değeri olarak belirlenmiş ve cihazın manometresi kişiye gösterilerek hedef basıncı uygulaması istenmiştir. Bu basıncı aklında tutup tekrar uygulaması isteneceği söylendi. Bu defa bireye basınç manometresi gösterilmeden (gözlemci görebilmekte) yine hedef basıncı uygulaması istenmiş ve hedef basınç ile arasındaki farkın mutlak değeri not edilmiştir. Üç tekrar yapılmış ve hata değerlerinin aritmetik ortalaması hesaplanıp kişinin “el basınç hassasiyet hatası” olarak kaydedilmiştir (Şekil 3.5-6).



Şekil 3.5: *Stabilizer Pressure Biofeedback®* aleti

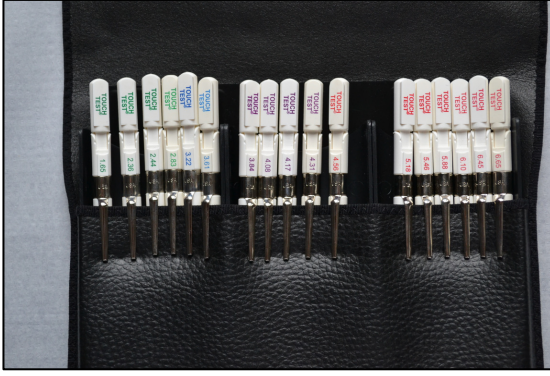


Şekil 3.6: El basınç hassasiyeti değerlendirilmesi

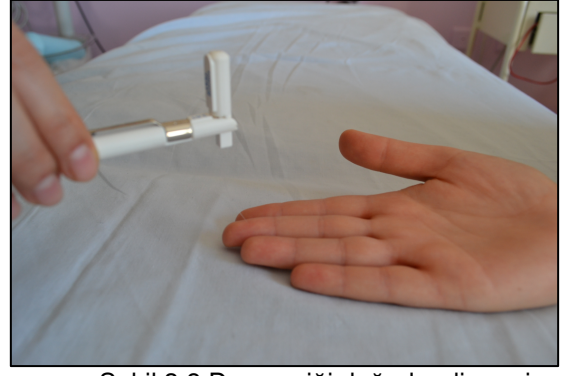
Ölçümlere başlamadan önce bireyler cihaz ve uygulama hakkında bilgilendirilmiş ve bir kaç deneme ölçümü yapıldıktan sonra asıl ölçümlere geçilmiştir.

3.2.4 Duyu Eşiği Değerlendirmesi:

Semmes-Weinstein monofilamentleri derinin algılayabildiği minimum nokta basıncı değerlendirmek amacıyla tasarlanmıştır (115, 117). Özel olarak hazırlanan ve kalem çubuğa monte edilmiş farklı kalınlıklardaki misinaya benzer plastik iplerden oluşmaktadır.



Şekil 3.7 Semmes Weinstein monofilament seti



Şekil 3.8 Duyu eşiği değerlendirme

Uygulama bireylerin gözleri kapalı olarak yapılmıştır. Flamentler her bir parmak ucuna kalından inceye doğru; hafifçe elastik deformasyon oluşacak şekilde (bükülecek kuvvette) 1-1,5 saniye dokundurulmuştur. Bu sırada kişiye “dokunma hissettin mi?” ya da “dokunma var mı, yok mu?” şeklinde sorular sorularak flamentleri hissedip hissetmediği test edilmiştir. Flamentleri parmak ucuna dokundurmadan yine aynı sorular sorulmuş ve bireyin fizyoterapist aldatici cevap verip vermediği test edilmiştir. Parmak ucuna dokunup hissettiği en ince flamentin katsayısı (flament kalemlerinin üzerindeki yazılıdır) kaydedilmiştir (11, 30) (Şekil 3.7-8).

Tablo 3.2’de flamentlerin katsayıları ve uyguladığı basınç tabloda gösterilmiştir.

Tablo 3.2 : Semmes Weinstein monofilamentlerinin kalınlıklarına göre katsayıları

Flament Ölçüsü	Kuvvet (miligram)
1.65	0.008
2.36	0.02
2.44	0.04
2.83	0.07
3.22	0.16
3.61	0.4
3.84	0.6
4.08	1

Bireylere değerlendirme ile ilgili gereken bilgilendirme, ölçümlere başlamadan yapıldıktan sonra değerlendirmeye geçilmiştir.

3.2.5 İki Nokta Ayırımı Değerlendirmesi:

İki nokta ayırımı değerlendirme 1 milimetre hassasiyetindeki diskriminatör ile yapılmıştır. Öncesinde test hakkında gerekli açıklama yapılmış ve gözler açıkken bireyin parmağına birbirinden oldukça uzak iki nokta uyarısı verilir “bu söz konusu iki noktadır”, sonra tek nokta uyarısı verilir “bu ise tek noktadır”, daha sonra birbirine çok yakın iki nokta uyarısı verilir “bu ise birbirine çok yakın iki noktadır” şeklinde ön bilgilendirme yapılmıştır (15).

Bireylerin gözleri kapalı olarak tüm parmak uçları test edilmiştir. En geniş mesafeden en dar mesafeye doğru diskriminatör parmak ucuna 1-1,5 saniye dokundurularak bireye “tek mi çift mi?” olduğu sorulmuştur. Bireyin hissedebildiği en dar çift nokta mesafesi kaydedilmiştir (Şekil 3.9-10).



Şekil 3.9: İki Nokta Ayırımı aleti



Şekil 3.10: İki Nokta Ayırımı testi

3.2.6 Grup I (Kontrol Grubu):

Bu gruptaki bireylere değerlendirilen parametrelerin zamana bağlı değişiminin olup olmadığını test etmek amacıyla ölçümler yapılmış; herhangi bir uygulama yapılmadan 3 hafta sonra aynı ölçümler tekrarlanmıştır.

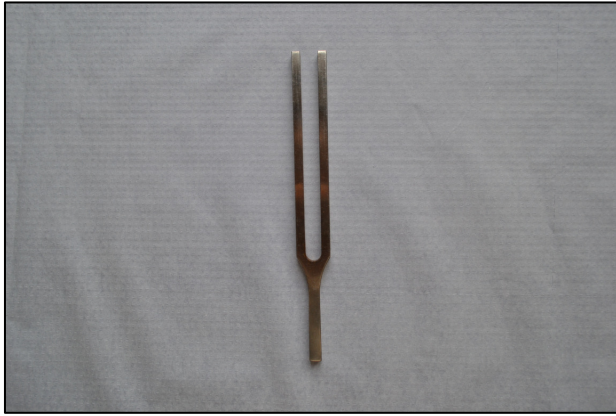
3.2.7 Grup II (Vibrasyon Grubu):

Grup II'deki bireylerin el bileklerine vibrasyon uygulanmıştır. Uygulama öncesi ve sonrası, el ve el bileği propriosepsiyon değerlendirme yapılmıştır (bakınız Tablo 3.1).

Vibrasyon stimulatörü olarak 128 Hertz (Hz) özelliğinde standart diapazon kullanılmıştır. (87, 89). Hagert ve ark.'nın bir kadavra

çalışmasında, triquetrum'un ve bununla ilişkili ligamentlerin el bileği stabilizasyonu ile ilgili proprioepsiyonda kilit rol oynadığı ortaya konulduğu için bu çalışmada da aynı noktalara vibrasyon uygulanmıştır. Elin palmarinde trapezium ve pisiform kemikler, dorsalinde ise radial ve ulnar stiolid çıkıntılar ile mekanoreseptörler açısından son derece zengin olan dorsal radiokarpal, dorsal interkarpal ve skafotriquetral ligamentler referans olarak kullanılmıştır (40, 41).

Diyapazon sert bir yere vurularak titreştirilmiş ve her referans noktasına ayrı ayrı uygulanmıştır. 10 saniyeden az olmamak koşulu ile kişi titreşim hissini duymayana dek devam edilmiştir (Şekil 3.11-12).



Şekil 3.11: Diyapazon



Şekil 3.12: El bileğine vibrasyon uygulaması

3.2.8 Grup III (Egzersiz Grubu)

Bu gruptaki bireylere el bileği kaslarını kuvvetlendirmede yararlanılan klâsik fizyoterapi egzersizleri uygulaması öncesi ve sonrasında el ve el bileği proprioepsiyon değerlendirilmesi yapılmıştır (bakınız Tablo 3.1).

El bileği germe egzersizleri ve eklem hareket açıklığı (EHA) egzersizleri bizzat araştırmacı tarafından bireylere uygulanmıştır. Hareketler eklemün tüm hareket eksenlerinde (fleksiyon-ekstansiyon, radial-ulnar deviasyon) ayrı ayrı çalıştırılmıştır.

- **Germe egzersizleri:** Anatomik sınırlar içinde kişilerin el bileği eklemine fleksiyon, ekstansiyon, radial ve ulnar deviasyon yönlerinde fizyoterapist tarafından germe yapılmıştır. Her germede hareket sınırı sonunda bir miktar daha zorlanarak (kişide rahatsızlık oluşturmayacak

şekilde) yaklaşık 5 saniye beklenip tekrar nötral pozisyona dönülmüştür. Germeler her yönde 5 kez tekrar edilmiştir (Şekil 3.13-16).



Şekil 3.13: Fleksiyonda germe



Şekil 3.14: Ekstansiyonda germe



Şekil 3.15: Radial deviasyonda germe



Şekil 3.16: Ulnar deviasyonda germe

• **EHA egzersizleri:** Çalışmamızdaki bireyler sağlıklı kişilerden olduğundan direçli egzersizler kullanılmıştır. Direnç olarak standart 1 kilogram ve 2 kilogramlık ağırlık setlerinden (el halteri) yararlanılmıştır. Tüm hareket yönleri ayrı ayrı çalıştırılmıştır. El bileği her yönde yerçekimine karşı pozisyonlanıp kişiden ağırlığı hareket sınırına kadar kaldırması istenmiştir. Önce hafif daha sonra ağır olan ağırlıklar kullanılmıştır. 10 ila 15 tekrar çalışılmış olup kişinin enduransına göre tekrar sayısı ilerleyen günlerdeki çalışmalarda artırılmıştır (Şekil 3.17-20).



Şekil 3.17: El halteri ile fleksiyon EHA egzersizi



Şekil 3.18: El halteri ile ekstansiyon EHA egzersizi



Şekil 3.19: El halteri ile radial deviasyon EHA egzersizi



Şekil 3.20: El halteri ile Ulnar deviasyon EHA egzersizi

Bireylerin yorgunluk, ağrı ve motivasyon eksikliği durumuna göre belli dinlenme araları verilerek çalışılmıştır. Egzersizler, gruptaki tüm bireylere her seansın süresi 30 dakikadan az olmamak koşulu ile haftada 3 seans, toplam 3 hafta uygulanmıştır.

3.2.9 Grup IV (Proprioseptif Eğitim Grubu):

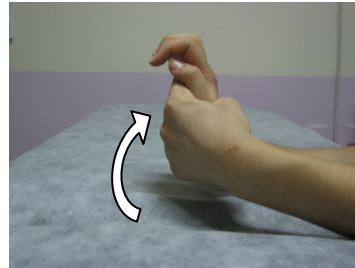
Bu gruptaki bireylere proprioseptif eğitim programı başlığı altında grup III'te kullanılan egzersizlere benzer kuvvetlendirme egzersizleri, proprioseptif egzersizler ve yine proprioseptiyonu artırmaya yönelik eklem traksiyonu, aproksimasyonu ve mobilizasyon yöntemleri kullanılmıştır.

Diğer gruplarda olduğu gibi öncesinde ve sonrasında proprioseptiyon parametreleri değerlendirilmiştir.

- **Aktif ve pasif germeler:** Eklem sınırında pasif germelere ek olarak, kişinin kendisine germeler öğretilerek tüm hareket eksenlerinde aktif germe yaptırılmıştır. Eklem hareketinin son noktasında bir miktar daha zorlanarak (kişide rahatsızlık oluşturmayacak şekilde) 5 saniye beklemesi ve nötral pozisyona dönmesi istenmiştir. Germeler her yönde 5 kez tekrar edilmiştir (Şekil 3.21-24).



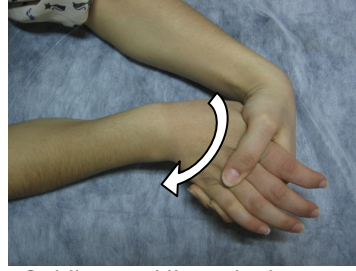
Şekil 3.21: Fleksiyonda aktif germe



Şekil 3.22: Ekstansiyonda aktif germe



Şekil 3.23: Ulnar deviasyonda aktif germe



Şekil 3.24: Ulnar deviasyonda aktif germe

- **Fleksör ve Ekstansör Germe:** Ön kol fleksör ve ekstansör grup kaslara fizyoterapist tarafından ayrıca germe uygulanmıştır. Fleksör grup germe için; dirsek ekstansiyonda ve supinasyonda iken el parmaklarından tutulup el bileği ekstansiyona getirilmiş ve 5 saniye boyunca germe uygulanmıştır. Ekstansör grup germe için; dirsek ekstansiyona ve pronasyona pozisyonlanıp, daha sonra kişinin parmakları fizyoterapistin eli ile yumularak el bileği fleksiyon yönünde hareket sonuna kadar getirilmiş ve o pozisyonda 5 saniye beklenmiştir. Tüm germeler 5 kez tekrarlanmıştır (Şekil 3.25-26).

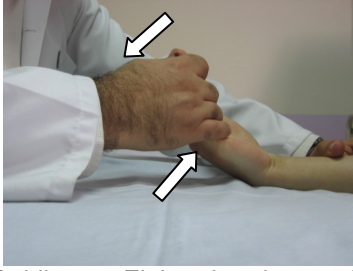


Şekil 3.25: Önkol fleksör grup germe



Şekil 3.26: Önkol ekstansör grup germe

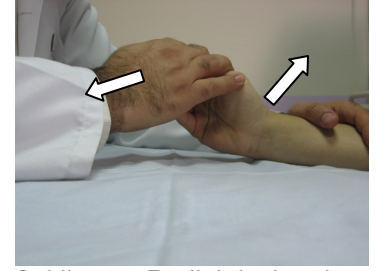
- **İzometrik Egzersizler:** Ön kol kaslarının ve ilgili tendonların kontraktıl gerilimini artırarak proprioseptörleri uyarmak amacıyla izometrik egzersizler uygulanmıştır. Fleksiyon, ekstansiyon, radial ve ulnar deviasyon yönlerinde ayrı ayrı çalışılmıştır. Kişinin el bileği nötral pozisyonda dururken örneğin kişi fleksiyon yönünde elini hareket ettirmesi istenmiş iken fizyoterapist aksi yönde direnç uygulayarak kişinin eli nötralde sabit tutulmuş ve hareket açığa çıkmadan izometrik kasılma oluşması sağlanmıştır. En az 10 tekrar çalışılmış, kişinin kuvvet ve enduransına göre tekrar sayısı ve direnç fizyoterapist tarafından ayarlanmıştır (Şekil 3.27-34).



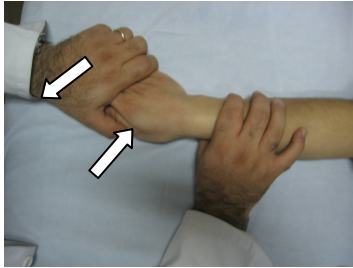
Şekil 3.27: Fleksörlere izometrik egzersiz



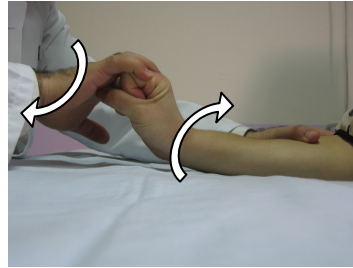
Şekil 3.28: Ekstansörlere izometrik egzersiz



Şekil 3.29: Radial deviatörlere izometrik egzersiz



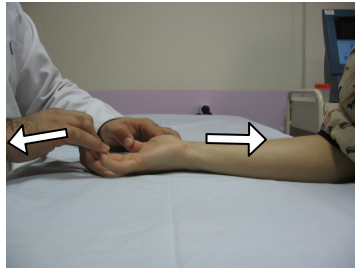
Şekil 3.30: Ulnar deviasyon yaptıran kaslara izometrik egzersiz



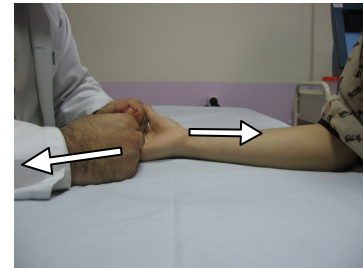
Şekil 3.31: Yumruk kapalı ekstansörlere izometrik egzersiz



Şekil 3.32: Yumruk kapalı fleksörlere izometrik egzersiz



Şekil 3.33: M.Fleksör digitorum profundus'a izole izometrik egzersiz

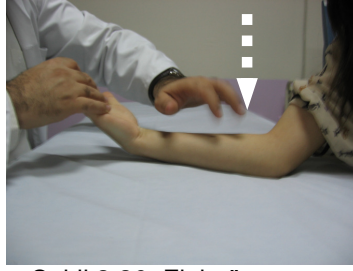


Şekil 3.34: M.Fleksör digitorum süperficialis'e izole izometrik egzersiz

- **Proprioseptif Nöromusküler Fasilitasyon(PNF):** PNF odaklaşma tekniklerinden “tekrarlanan kontraksiyonlar” ve antagonistin zıttı tekniklerinden “ritmik stabilizasyon” uygulamalarından yararlanılmıştır (69). El bileğine göre modifiye “yarım patern, ekstansiyon-radial deviasyondan fleksiyon-ulnar deviasyon” (dart throwing motion) tekniği kullanılmıştır (79). Zaman zaman kontraksiyon düzeyini artırmak için ön kol fleksör ve ekstansör grup kaslara “taping” uygulanmıştır (Şekil 3.35-37).



Şekil 3.35: Ritmik stabilizasyon

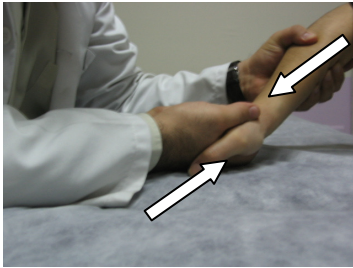


Şekil 3.36: Fleksör grup kaslara taping

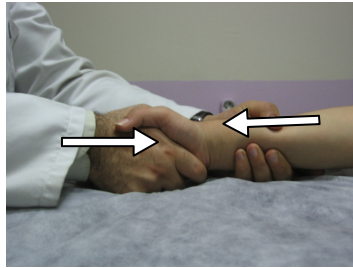


Şekil 3.37: Ekstansör grup kaslara taping

- **Eklem Aproksimasyonları:** “Yaklaşma” ya da “yakınlaşma” anlamı olan aproksimasyon, eklem yüzlerini birbirine yaklaştırma tekniğidir. Eklem yüzlerindeki reseptörleri uyarmak amacı ile çalışmamızda aproksimasyondan yararlanılmıştır. Bireyden, avuç içini belirli bir yerde sabitledikten sonra ön kol ve omuzdan avuç içine doğru bastırması istenmiştir. Duvarda, zeminde ve egzersiz topu ile ayrı ayrı aproksimasyon egzersizleri çalışılmıştır (Şekil 3.38-43).



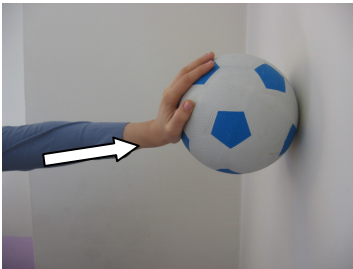
Şekil 3.38: Aproksimasyon



Şekil 3.39: Yatayda aproksimasyon



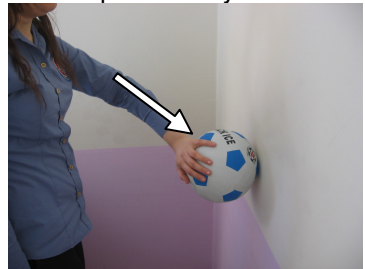
Şekil 3.40: Zeminde aproksimasyon



Şekil 3.41: Duvarda aproksimasyon



Şekil 3.42: Dirsek ekstansiyonda aproksimasyon



Şekil 3.43: Dirsek fleksiyonda aproksimasyon

- **Stabilizasyon ve Perturbasyon Egzersizleri:** Egzersiz topu ile duvarda ve zeminde stabilizasyon ve perturbasyon egzersizleri çalışılmıştır. Duvarda omuz ve dirseğin farklı açılarında el bileği ayrı ayrı çalıştırılmıştır. Zeminde çift el ile top üzerinde ko-kontraksiyon egzersizleri uygulanmıştır. Aproksimasyon ile kombine edilerek fleksiyon-ekstansiyon

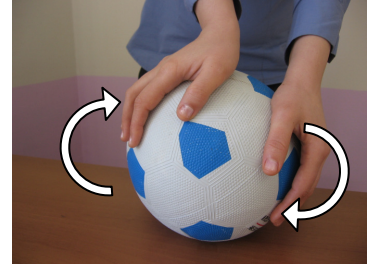
ve radial-ulnar deviasyon egzersizleri çalışılmıştır. Ayrıca fizyoterapist tarafından sabit tutulan topun pozisyonu bozulmuş ve bu sırada kişiden topu sabit tutması söylenmiştir (Şekil 3.44-49).



Şekil 3.44: Lateral perturbasyon



Şekil 3.45: İnfirior perturbasyon



Şekil 3.46: Fleksiyon-ekstansiyon stabilizasyon



Şekil 3.47: Ulnar deviasyonda stabilizasyon

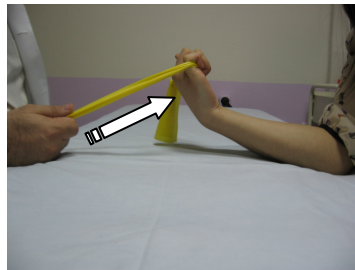


Şekil 3.48: Radial deviasyonda stabilizasyon

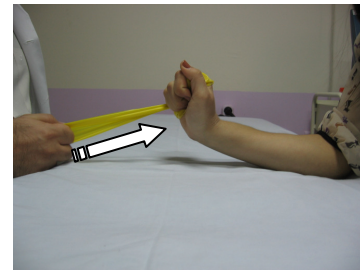


Şekil 3.49: Resiprokal stabilizasyon

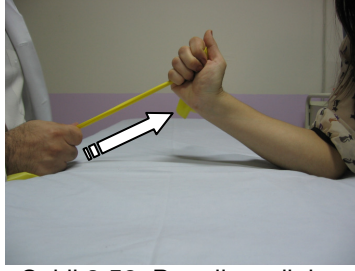
- **“Egzersiz Bantları” ile Egzersizler:** Esneyebilen egzersiz bantları, ağırlık ile egzersizlerden farklı olarak eklem hareket açısı arttıkça kaslara artan bir direnç uygulamasıdır, yani direnç artarak değişmektedir. Kişinin kuvvet ve enduransına uygun renkte bantlar kullanılmıştır. El bileğinin tüm yönlerinde (fleksiyon, ekstansiyon, radial ve ulnar deviasyon) ayrı ayrı çalışılmıştır (Şekil 3.50-53).



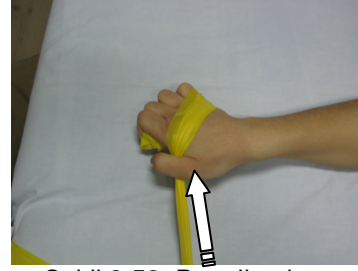
Şekil 3.50: Bant ile fleksiyon egzersizi



Şekil 3.51: Bant ile ekstansiyon egzersizi

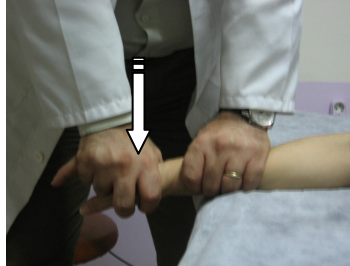


Şekil 3.52: Bant ile radial deviasyon egzersizi



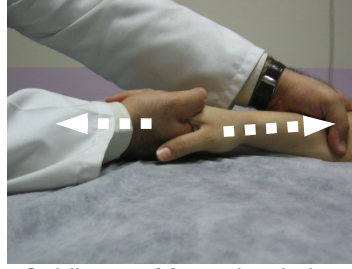
Şekil 3.53: Bant ile ulnar deviasyon egzersizi

- **El Bileği Eklem Mobilizasyonları:** El bileği ve interkarpal eklemlerin ve ilgili ligamentlerin uyarılması amacıyla el bileğine mobilizasyon uygulamaları yapılmıştır. Kişinin eli önkol ¼ distalinden itibaren tedavi masasından dışarı çıkartıldıktan sonra dirseği semi-fleksiyonda, el bileği nörtalde pozisyonlanmış, tüm üst ekstremitesini gevşetmesi istenmiştir. Fizyoterapist ayakta dururken, bir eli ile bireyin el bileğinin hemen üstünü kavrarken diğer eli ise el bileğinin hemen altından metakarpal seviyeden kavramıştır. Proksimal bölüm sabit tutularak eklem inferior yönde birkaç defa mobilize edilmiştir (Şekil 3.54).



Şekil 3.54: El bileğine mobilizasyon

- **Manuel Eklem Traksiyonu:** El bileğinin ve inter karpal ligamentlerin uyarılması amacıyla el bileğine fizyoterapist tarafından manuel eklem traksiyonu uygulanmıştır. Kişinin dirseği semi-flkesiyonda, el bileği nörtalde pozisyonlanıp, tüm üst ekstremitesini gevşetmesi istenmiştir. Fizyoterapist bir eli ile ön kolu sabit tutup, diğer eli ile kişinin dört parmağını kavrayarak dikkatli bir şekilde eli inferiora doğru 1-2 santimetre trakte edip birkaç saniye bekledikten sonra traksiyon kuvvetini kontrollü bir şekilde azaltmıştır. Daha sonra el bileği semi-fleksiyon ve semi-ekstansiyon pozisyonunda da manuel traksiyon uygulaması yapılmıştır (Şekil 3.55).



Şekil 3.55: Manuel traksiyon

Bu egzersiz uygulamaları da gruptaki tüm bireylere bizzat araştırmacı tarafından uygulanmıştır. Bireylerin yorgunluk ve motivasyon eksikliği durumuna göre belli dinlenme araları verilerek çalışıldı. Egzersizler, gruptaki tüm bireylere haftada 3 seans olmak üzere toplam 3 hafta uygulanmıştır.

3.3. İstatistiksel değerlendirme

İstatistiksel değerlendirme Statistical Package for Social Sciences (SPSS) (IBM SPSS Inc., Chicago, IL) programı kullanılarak yapılmıştır. Sayısal değişkenlerden normal dağılım sergileyenler ortalama±standart sapma olarak ve kategorik değişkenler sayı ve yüzde olarak belirtilmiştir. Normal dağılım sergileyen parametrelerin gruplar arası karşılaştırılmasında ("Kontrol Grubu", "Vibrasyon Grubu", "Egzersiz Grubu" ve "Proprioseptif Egzersiz Grubu") "Anova Testi", normal dağılım sergilemeyen parametrelerin gruplar arası karşılaştırılmasında "Kruskall Wallis H" testi, işlem öncesi ve sonrası parametrelerin gruplar arası karşılaştırılmasında "Tekrarlı Ölçümlerde Çift Yönlü Anova Analizi ve Tukey Testi" ile analiz edilmiştir.

İstatistiksel karşılaştırmalarda 0.05 istatistiksel anlamlılık olarak kabul edilmiştir.

4. BULGULAR

El bileğinde vibrasyon uygulamasının, geleneksel ve proprioseptif egzersiz eğitiminin propriosepsiyona olan etkilerini araştırmak amacıyla yapılan çalışmada, toplam 60 sağlıklı gönüllü birey çalışmaya alınmıştır. Kişiler rastgele olarak kontrol grubu, vibrasyon grubu, egzersiz grubu ve proprioseptif egzersiz grubu olmak üzere dört gruba ayrılmıştır. Vibrasyon grubundaki bireylere diyapazon ile el bileğine vibrasyon uygulanmıştır. Egzersiz grubundaki bireylere haftada üç kez olmak üzere üç hafta boyunca el bileği egzersizleri çalıştırılmıştır. Proprioseptif eğitim grubundaki bireylere kuvvetlendirme ve proprioseptif egzersizleri içeren ve propriosepsiyonu geliştirici uygulamalar yapılmıştır. Eklem pozisyon hissi, kavrama hassasiyeti, el basınç hassasiyeti, duyu algı eşiği ve iki nokta ayırımı parametreleri önce ve sonra değerlendirilmiştir.

Örneklem Gücü %88 olarak bulunmuştur. Kişilerin demografik özellikleri ve gruplar arası olası farklar Tablo 4.1 gösterilmiştir.

Tablo 4.1: Demografik özellikler

Demografik özellikler	Kontrol Grubu (n=15)	Vibrasyon Grubu (n=15)	Egzersiz Grubu (n=15)	Proprioseptif Egzersiz Grubu (n=15)	Test Değeri (* F test) (** χ^2 Testi)	P Değeri
Yaş (yıl)	29,13±6,74 (20-43)	30,00±7,08 (19-44)	28,73±6,71 (20-42)	30,07±7,68 (19-41)	0,129*	0,942
Cinsiyet						
Kadın	7 (% 46,7)	7 (% 46,7)	6 (% 40,0)	7 (% 46,7)	0,202**	0,977
Erkek	8 (% 53,3)	8 (% 53,3)	9 (% 60,0)	8 (% 53,3)		
Dominant El						
Sağ El	15 (% 100)	15 (% 100)	14 (% 93,3)	14 (% 93,3)	2,069**	0,558
Sol El	-	-	1 (% 6,7)	1 (% 6,7)		

Yaş, cinsiyet, dominant el gibi karakteristik özellikler “Kontrol Grubu”, “Vibrasyon Grubu”, “Egzersiz Grubu” ve “Proprioseptif Egzersiz Grubu” ‘nda benzer (homojen) özellik göstermiştir. Gruplar arası fark bulunmamaktadır ($p>0.05$).

Tablo 4.2: Eklem pozisyon hissi değerlendirmesi

Eklem pozisyon hissi değerlendirmesi	Kontrol Grubu (n=15)	Vibrasyon Grubu (n=15)	Egzersiz Grubu (n=15)	Propsiöseptif Egzersiz Grubu (n=15)	F Testi	P Değeri
El Bileği Fleksiyon EPH (°)	2.93±0.62 (1,66-4,00)	2,80±0,57 (1,66-3,66)	2,66±0,67 (1,66-3,66)	2,80±0,53 (2,00-4,00)	0,490	0,690
El Bileği Ekstansiyon EPH (°)	2.75±0.69 (1,33-4,00)	2,84±0,62 (2,00-4,00)	2,55±0,72 (1,33-4,00)	2,84±0,70 (1,33-4,00)	0,593	0,622
El Bileği Radial Deviasyon EPH (°)	2.15±0.41 (1,33-3,00)	2,24±0,55 (1,00-3,00)	2,13±0,47 (1,33-3,00)	2,35±0,60 (1,33-3,33)	0,578	0,632
El Bileği Ulnar Deviasyon EPH (°)	2.06±0.42 (1,33-3,00)	2,09±0,51 (1,00-3,00)	2,11±0,46 (1,33-3,00)	2,09±0,32 (1,66-2,66)	0,026	0,994

Uygulamalar öncesi eklem pozisyon hissi hata ortalamalarında gruplar benzer (homojen) özellik göstermiştir. Gruplar arası fark bulunmamaktadır ($p>0.05$).

Tablo 4.3: Kavrama ve el basınç hassasiyeti değerlendirmesi

Kavrama ve el basınç hassasiyeti değerlendirmesi	Kontrol Grubu (n=15)	Vibrasyon Grubu (n=15)	Egzersiz Grubu (n=15)	Propsiöseptif Egzersiz Grubu (n=15)	F Testi	P Değeri
Kavrama Hassasiyeti (psi)	3.09±0.79 (1,66-4,33)	2,80±0,78 (1,66-4,33)	2,80±0,66 (1,66-4,00)	2,78±0,76 (1,33-4,00)	0,581	0,630
El Basınç Hassasiyeti (psi)	3.02±0.57 (2,00-4,00)	2,82±0,60 (2,00-4,00)	2,95±0,69 (2,00-4,33)	2,73±0,57 (2,00-3,66)	0,680	0,568

Uygulamalar öncesi kavrama ve el basınç hassasiyeti hata ortalamalarında gruplar benzer (homojen) özellik göstermiştir. Gruplar arası fark bulunmamaktadır ($p>0.05$).

Tablo 4.4: Semmes Weinstein monofilamentleri ile duyu eşiği değerlendirilmesi

Duyu eşiği değerlendirilmesi (mg)	Kontrol Grubu (n=15)	Vibrasyon Grubu (n=15)	Egzersiz Grubu (n=15)	Proprioseptif Egzersiz Grubu (n=15)	F Testi	p Değeri
Baş Parmak	0,044±0,036 (0,008-0,160)	0,026±0,01 (0,008-0,07)	0,041±0,02 (0,008-0,07)	0,034±0,02 (0,008-0,07))	1,050	0,378
İşaret Parmağı	0,033±0,02 (0,008-0,07)	0,28±0,01 (0,008-0,07)	0,030±0,02 (0,008-0,07)	0,037±0,02 (0,008-0,07)	0,729	0,539
Orta Parmak	0,044±0,02 (0,008-0,07)	0,053±0,03 (0,02-0,16)	0,050±0,03 (0,008-0,16)	0,036±0,02 (0,008-0,07)	0,944	0,426
Yüzük Parmağı	0,084±0,10 (0,02-0,40)	0,070±0,05 (0,02-0,16)	0,081±0,09 (0,016-0,40)	0,064±0,04 (0,020-0,16)	0,230	0,875
Serçe Parmak	0,053±0,03 (0,02-0,16)	0,054±0,03 (0,02-0,16)	0,063±0,04 (0,02-0,16)	0,051±0,04 (0,02-0,16)	0,332	0,802

Uygulamalar öncesi duyu eşiği testi ortalamalarında gruplar benzer (homojen) özellik göstermiştir. Gruplar arası fark bulunmamaktadır ($p>0.05$).

Tablo 4.5: İki Nokta Ayırımı değerlendirilmesi

İki Nokta Ayırımı değerlendirilmesi(mm)	Kontrol Grubu (n=15)	Vibrasyon Grubu (n=15)	Egzersiz Grubu (n=15)	Proprioseptif Egzersiz Grubu (n=15)	F Testi	p Değeri
Baş Parmak	3,20±0,78 (2-5)	3,20±0,86 (2-5)	3,53±0,92 (2-5)	3,40±0,91 (2-5)	0,532	0,662
İşaret Parmağı	3,20±0,86 (2-5)	3,67±0,82 (2-5)	3,40±0,83 (2-5)	3,33±0,90 (2-5)	0,796	0,501
Orta Parmak	3,40±0,83 (2-5)	3,67±0,72 (3-5)	3,33±0,62 (2-4)	3,53±0,83 (2-5)	0,574	0,635
Yüzük Parmağı	3,33±0,90 (2-5)	3,27±0,80 (2-5)	3,33±0,82 (2-5)	3,47±0,74 (2-5)	0,158	0,924
Serçe Parmak	3,67±0,98 (2-6)	3,27±1,10 (2-6)	3,60±0,63 (3-5)	3,47±0,74 (2-5)	0,599	0,618

Uygulamalar öncesi iki nokta ayırımı hassasiyeti ortalamalarında gruplar benzer (homojen) özellik göstermiştir. Gruplar arası fark bulunmamaktadır ($p>0.05$).

Eklem pozisyon hissi değerlendirmesi sonuçları Tablo 4.6'de özetlenmiştir. Proprioseptif egzersiz grubunda fleksiyon eklem pozisyon hissi hata ortalamasında egzersiz sonrası istatistiksel olarak anlamlı düzeyde düşüş gözlemlendi ($p<0.05$). Diğer gruplarda ve hareket eksenlerinde herhangi bir değişim olmamıştır ($p>0.05$).

Tablo 4.6 : Grupların uygulama öncesi ve sonrası eklem pozisyon hissi hata ortalamaları

Eklem Pozisyon Hissi Hatası	Kontrol Grubu (n=15)			Vibrasyon Grubu (n=15)			Egzersiz Grubu (n=15)			Proprioseptif Egzersiz Grubu (n=15)			F Testi	Gruplar Arası p Değer
	Önce	Sonra	p	Önce	Sonra	p	Önce	Sonra	p	Önce	Sonra	p		
El Bileği Fleksiyon EPH (°)	2.93±0.62 (1,66-4,00)	2.98±0.43 (2,00-3,66)	0,753	2,80±0,57 (1,66-3,66)	2,73±0,63 (1,66-3,66)	0,638	2,66±0,67 (1,66-3,66)	2,44±0,86 (1-4)	0,260	2,80±0,53 (2-4)	2,13±0,52 (1,33-3,00)	0,007	1,284	0.061
El Bileği Ekstansiyon EPH (°)	2.75±0.69 (1,33-4,00)	2.88±2.15 (2,00-3,66)	0,495	2,84±0,62 (2-4)	2,66±0,58 (2-3,66)	0,372	2,55±0,72 (1,33-4,00)	2,44±0,57 (1,33-3,33)	0,540	2,84±0,70 (1,33-4,00)	2,49±0,58 (1,33-3,33)	0,096	1,135	0.343
El Bileği Radial Deviasyon EPH (°)	2.15±0.41 (1,33-3,00)	2.29±0.30 (2,00-3,00)	0,252	2,24±0,55 (1-3)	2,11±0,45 (1,33-3,00)	0,249	2,13±0,47 (1,33-3,00)	2,11±0,59 (1,00-3,00)	0,852	2,35±0,60 (1,33-3,33)	2,22±0,39 (1,33-3,00)	0,306	1,116	0.331
El Bileği Ulnar Deviasyon EPH (°)	2.06±0.42 (1,33-3,00)	2.17±0.53 (1,33-3,00)	0,302	2,09±0,51 (1-3)	1,97±0,39 (1,33-2,66)	0,414	2,11±0,46 (1,33-3,00)	1,91±0,46 (1,00-2,66)	0,106	2,09±0,32 (1,66-2,66)	1,80±0,50 (1,00-2,66)	0,074	1,994	0.125

* İşlem öncesi ve sonrası parametrelerin gruplar içi karşılaştırılmasında “Wilcoxon İşaretli Sıra Testi” ve gruplar arası karşılaştırılmasında “Tekrarlı Ölçümlerde Çift Yönlü Anova” analizi kullanıldı.
* p<0.05 istatistiksel anlamlılık kabul edildi.

Kavrama hassasiyeti ve el basıncı hassasiyeti değerlendirmeleri Tablo4.7'te özetlenmiştir. Buna göre; proprioseptif egzersiz grubunda egzersiz sonrası kavrama hassasiyetinde ve el basıncı hassasiyetinde istatistiksel olarak anlamlı düzeyde gelişmeler kaydedilmiştir. Yine, egzersiz grubunda el basıncı hassasiyeti ölçümlerinde egzersiz sonrası değerlerde gelişmeler olmuştur ($p<0.05$). Diğer gruplarda herhangi anlamlı bir değişim gözlenmemiştir ($p>0.05$).

El basıncı hassasiyeti değerlendirmesinde her iki egzersiz grubunda da istatistiksel olarak anlamlı fark gözlenmiştir ($p<0.05$). Gruplar arası farklara bakıldığında da anlamlı fark bulunmuştur. Tukey testi ile proprioseptif grubun diğer gruplardan farklı olduğu ve diğer grupların benzer özellikler gösterdiği tespit edilmiştir (Tablo 4.8).

Tablo 4.7 : Kavrama ve el basınç hassasiyeti değerlendirilmesi

Kavrama ve El Basınç Hassasiyeti (pressure square inch) (psi)	Kontrol Grubu (n=15)			Vibrasyon Grubu (n=15)			Egzersiz Grubu (n=15)			Proprioseptif Egzersiz Grubu (n=15)			F Testi	Gruplar Arası p Değer
	Önce	Sonra	p	Önce	Sonra	p	Önce	Sonra	p	Önce	Sonra	p		
Kavrama Hassasiyeti	3.09±0.79 (1,66-4,33)	3.11±0.66 (2,00-4,00)	0,607	2,80±0,78 (1,66-4,33)	2,80±0,65 (1,66-4,00)	0,915	2,80±0,66 (1,66-4,00)	2,62±0,59 (2,00-4,00)	0,354	2,78±0,76 (1,33-4,00)	2,09±0,66 (1,00-3,00)	0,012	4,513	0.007*
El Basınç Hassasiyeti	3.02±0.57 (2,00-4,00)	3.04±0.64 (2,00-4,33)	0,905	2,82±0,60 (2,00-4,00)	2,97±0,41 (2,33-3,66)	0,446	2,95±0,69 (2,00-4,33)	2,73±0,51 (2,00-3,66)	0,033	2,73±0,57 (2,00-3,66)	2,18±0,65 (1,00-3,66)	0,004	4,941	0.004*

* İşlem öncesi ve sonrası parametrelerin gruplar içi karşılaştırılmasında “Wilcoxon İşaretli Sıra Testi” ve gruplar arası karşılaştırılmasında “Tekrarlı Ölçümlerde Çift Yönlü Anova” analizi kullanıldı.
* p<0.05 istatistiksel anlamlılık kabul edildi.

Tablo 4.8: El basınç hassasiyetinde uygulama sonrası farklılığın kaynaklandığı grubun tespiti

Grup		Ortalama Farkları	Standart Sapma	p	%95 Güven Aralığı		
					Alt	Üst	
Tukey Testi	Kontrol grubu	Vibrasyon grubu	,1333	,18905	0,895	-,3838	,6504
		Egzersiz grubu	,1893	,18905	0,749	-,3278	,7064
		Proprioseptif egzersiz grubu	,5777*	,18905	0,018	,0606	1,0948
	Vibrasyon grubu	Kontrol grubu	-,1333	,18905	0,895	-,6504	,3838
		Egzersiz grubu	,0560	,18905	0,991	-,4611	,5731
		Proprioseptif egzersiz grubu	,4443	,18905	0,099	-,0728	,9614
	Egzersiz grubu	Kontrol grubu	-,1893	,18905	0,749	-,7064	,3278
		Vibrasyon grubu	-,0560	,18905	0,991	-,5731	,4611
		Proprioseptif egzersiz grubu	,3883	,18905	0,181	-,1288	,9054
	Proprioseptif egzersiz grubu	Kontrol grubu	-,5777*	,18905	0,018	-1,0948	-,0606
		Vibrasyon grubu	-,4443	,18905	0,099	-,9614	,0728
		Egzersiz grubu	-,3883	,18905	0,181	-,9054	,1288

Duyu eşiği değerlendirmesi sonuçları Tablo 4.9'te gösterilmiştir. Vibrasyon uygulaması sonrası işaret parmağın duyu algı eşiği anlamlı lde artmıştır. Proprioseptif egzersiz grubunda egzersiz eğitimi sonrası yüzük parmağın duyu algı eşiği anlamlı derecede düşmüş; yüzük parmağın duyu eşiği artmıştır ($p < 0.05$). Gruplar arası farklılığa bakıldığında herhangi bir fark bulunmamıştır ($p > 0.05$).

Tablo 4.9: Duyu eşiği testi sonuçları ve gruplar arası farklar

Duyu Eşiği Testi (miligram)	Kontrol Grubu (n=15)			Vibrasyon Grubu (n=15)			Egzersiz Grubu (n=15)			Proprioseptif Egzersiz Grubu (n=15)			F Testi	Gruplar Arası p Değeri
	Önce	Sonra	p	Önce	Sonra	p	Önce	Sonra	p	Önce	Sonra	p		
Baş Parmak	0.044±0.036 (0,008-0,16)	0.039±0.015 (0,02-0,07)	0,565	0,026±0,01 (0,008-0,07)	0,031±0,01 (0,008-0,07)	0,499	0,04±0,02 (0,008-0,07)	0,03±0,02 (0,008-0,07)	0,461	0,034±0,02 (0,008-0,07)	0,037±0,02 (0,02-0,07)	0,532	0,575	0,634
İşaret Parmağı	0.033±0.02 (0,008-0,07)	0.028±0.02 (0,008-0,07)	0,119	0,28±0,01 (0,008-0,07)	0,40±0,02 (0,02-0,07)	0,005	0,030±0,02 (0,008-0,07)	0,30±0,02 (0,008-0,07)	0,998	0,037±0,02 (0,008-0,07)	0,032±0,02 (0,008-0,07)	0,149	6,550	0,001
Orta Parmak	0.044±0.02 (0,008-0,07)	0.041±0.02 (0,02-0,07)	0,671	0,053±0,03 (0,02-0,16)	0,043±0,02 (0,20-0,07)	0,246	0,050±0,03 (0,008-0,16)	0,44±0,03 (0,008-0,16)	0,160	0,036±0,02 (0,008-0,07)	0,031±0,16 (0,008-0,07)	0,197	0,248	0,862
Yüzük Parmağı	0.084±0.10 (0,02-0,40)	0.090±0.09 (0,02-0,40)	0,645	0,070±0,05 (0,02-0,16)	0,056±0,03 (0,02-0,16)	0,161	0,081±0,09 (0,016-0,40)	0,089±0,09 (0,020-0,40)	0,790	0,064±0,04 (0,020-0,16)	0,043±0,02 (0,02-0,07)	0,021	0,679	0,569
Serçe Parmak	0.053±0.03 (0,02-0,16)	0.054±0.04 (0,02-0,16)	0,865	0,054±0,03 (0,02-0,16)	0,054±0,03 (0,02-0,16)	0,800	0,063±0,04 (0,02-0,16)	0,065±0,04 (0,02-0,16)	0,486	0,051±0,04 (0,02-0,16)	0,049±0,04 (0,02-0,16)	0,582	0,152	0,928

* İşlem öncesi ve sonrası parametrelerin gruplar içi karşılaştırılmasında "Wilcoxon İşaretili Sıra Testi" ve gruplar arası karşılaştırılmasında "Tekrarlı Ölçümlerde Çift Yönlü Anova" analizi kullanıldı.

* p<0.05 istatistiksel anlamlılık kabul edildi.

İki Nokta Ayırımı değerlendirme sonuçları Tablo 4.10'te gösterilmiştir. Proprioseptif egzersiz grubunda egzersiz sonrası İki Nokta Ayırımı mesafesinde işaret parmağı haricinde diğer dört parmakta istatistiksel olarak anlamlı azalmalar olmuştur ($p<0.05$). Diğer gruplardaki değişimler ise istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p>0.05$).

Tablo 4.10: İki Nokta Ayırımı değerlendirme sonuçları ve gruplar arası farklar

İki Nokta Ayırımı (milimetre)	Kontrol Grubu (n=15)			Vibrasyon Grubu (n=15)			Egzersiz Grubu (n=15)			Proprioseptif Egzersiz Grubu (n=15)			F Testi	Gruplar Arası p Değeri
	Önce	Sonra	p	Önce	Sonra	p	Önce	Sonra	p	Önce	Sonra	p		
Baş Parmak	3,20±0,78 (2-5)	3,00±0,76 (2-4)	0,271	3,20±0,86 (2-5)	3,27±0,88 (2-5)	0,670	3,53±0,92 (2-5)	3,53±0,74 (2-5)	0,996	3,40±0,91 (2-5)	2,87±0,74 (2-4)	0,006	2,895	0,043*
İşaret Parmak	3,20±0,86 (2-5)	3,20±0,94 (2-5)	0,995	3,67±0,82 (2-5)	3,53±0,74 (2-5)	0,582	3,40±0,83 (2-5)	3,47±0,74 (2-5)	0,751	3,33±0,90 (2-5)	3,00±0,54 (2-4)	0,055	0,933	0,431
Orta Parmak	3,40±0,83 (2-5)	3,40±0,63 (2-4)	0,995	3,67±0,72 (3-5)	3,60±0,73 (3-5)	0,670	3,33±0,62 (2-4)	3,13±0,74 (2-4)	0,271	3,53±0,83 (2-5)	2,80±0,78 (2-4)	0,001	4,590	0,006
Yüzük Parmak	3,33±0,90 (2-5)	3,40±0,83 (2-5)	0,670	3,27±0,80 (2-5)	3,47±0,74 (2-5)	0,189	3,33±0,82 (2-5)	3,20±0,68 (2-4)	0,334	3,47±0,74 (2-5)	2,87±0,64 (2-4)	0,003	5,517	0,002
Serçe Parmak	3,67±0,98 (2-6)	3,80±1,01 (2-6)	0,546	3,27±1,10 (2-6)	3,60±0,91 (2-5)	0,238	3,60±0,63 (3-5)	3,67±0,90 (3-6)	0,582	3,47±0,74 (2-5)	3,13±0,74 (2-4)	0,019	2,095	0,011

* İşlem öncesi ve sonrası parametrelerin gruplar içi karşılaştırılmasında "Wilcoxon İşaretli Sıra Testi" ve gruplar arası karşılaştırılmasında "Tekrarlı Ölçümlerde Çift Yönlü Anova" analizi kullanıldı.

* p<0.05 istatistiksel anlamlılık kabul edildi.

5. TARTIŞMA

Bu çalışma, sağlıklı bireylerde vibrasyon uygulamasının ve farklı egzersiz protokollerinin el bileği propriosepsiyonuna ve elin duyuusal parametrelerine olan etkisini araştırmaktır.

Propriosepsiyon ve eklem pozisyon hissi araştırmaları diz, ayak bileği, omuz gibi eklemlerde, nadiren omurgada ve ilgili eklemlerin patolojilerinde sıkça yapılmasına karşın (1, 2, 25, 26, 28, 47, 78, 84, 86, 103, 104, 108) el bileğindeki çalışmalar oldukça azdır. Örneğin; nadir yapılan çalışmalardan birinde, Hagert ve ark. 9 sağlıklı kişide skafolunat interosseöz ligamentin stimülasyonu sonrası ekstansör karpı radialis brevis, ekstansör karpı ulnaris, fleksör karpı radialis ve fleksör karpı ulnaris kaslarının olası EMG yanıtlarını izometrik kontraksiyon anında incelemişlerdir (40). Literatür örneklerinde görüldüğü gibi çalışmaların büyük kısmını, klinik araştırmalardan çok, laboratuvar ve elektromyografik çalışmalar ile prelinik araştırmalar oluşturmaktadır. Buna karşılık propriosepsiyonun el bileği patolojilerindeki durumu sınırlı birkaç çalışma dışında neredeyse hiç araştırılmamıştır (24, 40, 43, 50, 80, 110).

Bu nedenle el bileği propriosepsiyonunun öncelikle sağlıklı kişiler üzerindeki sonuçlarını araştırmak amacı ile çalışmamız sağlıklı bireyler ile yapılmıştır.

Çalışmamıza herhangi bir el ve üst ekstremité problemi olmayan 60 sağlıklı gönüllü birey dahil edilmiş ve randomizasyon yolu ile birbirine eşit sayıda dört gruba ayrılmışlardır. Yaş, cinsiyet dağılımı ve diğer parametreler tüm gruplarda homojen dağılım göstermiştir. Bu homojen dağılım, değerlendirilen parametrelerin gruplardaki sonuçlarının ve farklarının, yaş ve cinsiyete bağlı olmadığını göstermektedir.

Gay ve ark. el bileğinde pasif hareketi algılama eşiği ile ilgili yapmış oldukları çalışmada; bizim çalışmamıza benzer şekilde sağlıklı kişiler üzerinde ölçüm yapılmıştır. Ancak bizden farklı olarak uygulama yöntemlerinde anterior ve posterior sinir blokajı uygulamasını tercih etmişlerdir (32).

Çalışmamızda uygulamalar öncesinde, el bileği EPH, el basınç hassasiyeti, kavrama kuvveti hassasiyeti, iki nokta ayırımı değerlendirmesi ve duyu eşiği değerlendirmesinde gruplar arası herhangi bir fark çıkmaması, bireylerin gruplarda homojen bir dağılım gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Temel olarak insanda proprioepsiyon üç ana duyudan oluşmaktadır; kinestezi, eklem pozisyon hissi ve nöromusküler kontrol (38). Ayrıca proprioepsiyonu oluşturan diğer bir duyu da gerilim ve kuvvet hassasiyeti duyusudur. İki nokta ayırımı yetisi de derin duyuların başında gelmektedir ve bu duyunun afferent yolu şuurlu proprioepsiyonun taşındığı dorsal kolonu kullanmaktadır (115). Bu nedenle el bileği proprioepsiyon değerlendirmesi için çalışmamızda eklem pozisyon hissini yanı sıra, nöromusküler kontrol ve kinestezi ile ilişkili kavrama hassasiyeti, avuç içi basınç hassasiyeti, iki nokta ayırımı ve duyu hassasiyeti eşiği değerlendirilmiştir.

Literatürde, el bileğinde eklem pozisyon hissi konusunda yapılan çalışmalar yok denecek kadar azdır (33, 34, 89). Diğer ekstremitelerde olduğu gibi el bileği eklemde de, eklem pozisyon hissini değerlendirmede kullanılan standart bir ölçüm yöntemi henüz yoktur. Ölçümlerde çoğunlukla temel klinik gonyometrelerden, özgün olarak geliştirilen aletlerden ve gelişmiş hareket analiz cihazlarından yararlanılmaktadır (7, 14, 28, 56, 64, 94, 110). Bu nedenle çalışmamızda el bileği eklem pozisyon hissini değerlendirmek için orijinal olarak tasarladığımız gonyometreden yararlanılmıştır.

Patterson ve ark. el bileği eklem pozisyon hissini bizim çalışmamızda özgün olarak tasarladığımız gonyometreye benzer bir düzenek ile değerlendirmişlerdir (89).

Gay ve ark. el bileği eklem pozisyon hissi ölçümü için hareket izleme sistemi geliştirmişler ve 80 sağlıklı bireyde fleksiyon ve ekstansiyon hareketleri için pasif ve aktif olarak eklem pozisyon hissini gözler kapalı olarak ölçmüşlerdir (33). Bizim çalışmamızdan farklı olarak aktif hareket ile birlikte pasif eklem pozisyon hissini de değerlendirmişlerdir. Buna karşılık, bizim çalışmamızda ölçtüğümüz ulnar ve radial deviasyon eklem pozisyon

hissini ise değerlendirmemişlerdir. Çalışmamızda, el bileği ekleminde en az fleksiyon-ekstansiyon hareketi kadar önem arz eden ve el ve üst ekstremitenin hemen hemen tüm fonksiyonel aktivitelerinde kullanılan radial-ulnar deviasyon hareketinin eklem pozisyon hissi ile ilgili ölçümler de yapılmıştır.

Çalışmamızda el bileği için özgün olarak geliştirdiğimiz gonyometre ile eklem pozisyon hissinin ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca görsel duyuyu engellemek amacıyla gonyometreye vertikal olarak monte edilen dikey platform, perde görevi görmüş ve deneğin kendi el hareketini izlemesine engel olmuştur. Bu dikey platform ile kişinin görme duyusu engellenmeden elini görmemesi sağlanmış ve deneğin gözlerinin kapatılmasına gerek kalmamıştır. Böylece bireyin uzaydaki vücut imajı engellenmemiş olup, bedeni ile ilgili algısı devam ettirilmiştir.

Görsel duyunun propriosepsiyona ve eklem pozisyon hissine olan pozitif katkısı bilinmektedir (93, 94, 127). Ancak bu konu, el ve el bileği için tartışmalı bir konudur. Elin, zaten duyuşal ve motor temsili açısından santral sinir sisteminde oldukça geniş bir yer kapladığından, görme duyusu olmadan da neredeyse aynı keskinlikte pozisyon hissine sahip olduğu söylenmektedir (45, 50, 63, 64, 91, 106). Birçok yazar bu konudaki en önemli faktörün "öğrenme" olduğunu vurgulamaktadır. Yani bir hareketi; el ve el bileği, diğer eklemlere oranla çok daha çabuk öğrenmektedir (4, 7, 36, 76, 94, 123, 124). Bu nedenle çalışmamızda eklem pozisyon hissi değerlendirmesinde öğrenme etkisini minimuma indirmek için hedef açı tekrarını 3 denemede sınırlanmış, böylece öğrenmeye bağlı girdinin önüne geçilmiştir.

Çalışmamızın diğer bir parametresi olan kavrama kuvveti hassasiyeti ya da hedef kuvvet tekrarı; önceden belirlenen bir belli bir kuvvet miktarını bireyin uygulaması ve daha sonra o kuvveti tekrar kabiliyeti olarak tanımlanmakta ve propriosepsiyonun bir komponenti olarak kabul edilmektedir (19, 112). Kas geriliminden sorumlu kas içiği ve golgi tendon organı ve bu yapıların santral organizasyonu, bu ölçümle dolaylı olarak değerlendirilebildiği düşünülmektedir (122). Bu yüzden çalışmamızda propriosepsiyonun daha belirgin temsili için sadece eklem pozisyon hissi

değil, bunun yanında kavrama kuvveti hassasiyeti de ölçülmüştür. Buna karşılık literatürde kuvvet hassasiyeti ve ağırlık tahmini keskinliği ile yapılmış sınırlı sayıda çalışma mevcuttur (23, 31, 52, 53, 57, 58).

Chang ve ark. ön kola uygulanan kinesio-taping bantlama yönteminin maksimum kavrama kuvvetine ve kavrama hassasiyetine olan etkisini araştırmışlardır. 21 sağlıklı atlet üzerinde yaptıkları çalışmada, Jamar hidrolik el dinamometresi ile maksimum kuvveti ve maksimum kuvvetin %50'sini hedef kuvvet olarak ölçmüşlerdir (19). Bizim yaptığımız çalışmada da, Chang ve ark.'nın çalışmasında olduğu gibi maksimum kavrama kuvvetinin %50'si hedef kuvvet olarak kullanılmıştır.

Gandevia ve Kilbreath, ağırlık tahmini keskinliği ile ilgili yapmış oldukları çalışmalarında; birinci dorsal interosseöz, fleksör pollicis longus ve dirsek fleksör kaslarının ağırlık hassasiyetini değerlendirmişlerdir. 16 sağlıklı birey ile gerçekleştirdikleri araştırmalarında, her bir kas için maksimum istemli kas kuvvetinin %3'ü (küçük ağırlık) ve %15'ini (büyük ağırlık) hedef ağırlık olarak belirlemişler ve kontralateral tarafla karşılaştırmışlardır. Büyük ağırlıklarla yapılan ağırlık tahmininde, hata payının daha az; küçük ağırlıklarla yapılanların daha fazla olduğu sonucuna varmışlardır (31). Bizim çalışmamızda da çok hafif bir ağırlığın bireyler tarafından tahmininin zor olması nedeniyle, kavrama hassasiyeti ve el basınç hassasiyetinin hedef kuvveti olarak, maksimum kuvvetin %50'si alınmıştır.

Çalışmamızın özgün bir parametresi olan el basınç hassasiyeti, klinikte omurga kaslarının eğitimi için kullanılan *Stabilizer Pressure Biofeedback®* aleti ile değerlendirilmiştir. Uygulama sırasında; birey oturur pozisyonda iken, avuç içinin alete uygulayabildiği maksimum kuvvetin yarısı hedef kuvvet olarak belirlenmiş ve bireylerin hedef tekrar hassasiyeti ölçülmüştür. Daha sonra vibrasyonun ve iki farklı egzersiz rejiminin bu hassasiyete olan etkisi araştırılmıştır.

Bizim çalışmamızda kullandığımız kavrama hassasiyeti ve el basınç hassasiyeti ile ilgili olarak literatürdeki birkaç çalışmada, kavrama kuvveti hassasiyetinin, proprioepsiyon sisteminin nöromusküler kontrol kısmı için kullanılabileceği öne sürüldüğü halde, el basınç hassasiyeti için herhangi bir

görüş bildirilmemiştir (19, 62, 78). El basınç hassasiyeti ölçümü esnasında avuç belirli bir yere bastırılırken; sadece el içi kutanöz reseptörler değil, aynı zamanda ön kol ve omuz kasları da çalışır. Ayrıca hem taktil ve basınç reseptörleri, hem de üst ekstremitte kassal geriliminin miktarı aynı anda test edilebilir. Bu nedenle, avuç içinin kuvvet kontrolünü sağlayan kasların büyük bir kısmı el bileği eklemine kat ettiği için çalışmamızda böyle bir ölçüm yöntemi kullanılmıştır. Böylelikle bu kaslara verilen egzersiz eğitiminin, el basınç hassasiyetine yönelik olası etkileri de araştırılmıştır.

Çalışmamızda ayrıca, Semmes-Weinstein monofilamentleri ile parmak uçlarının duyu eşiği değerlendirilmiştir (44, 117).

Genelde duyu eşiği değerlendirmesi taktil hassasiyetin bozulduğu sinir yaralanmaları, tuzak nöropatileri ve santral sistem hastalıkları gibi durumlarda kullanılmaktadır. Ayrıca, plastik ve rekonstrüktif cerrahide yapılan greftlerin duyusunu niceliksel olarak ölçmede kullanılmaktadır (9, 30, 44). Ancak, sağlıklı kişilerde el bileği için kullanılan hem klasik ve hem de proprioseptif egzersizlerin duyu eşiğine olan muhtemel etkilerini araştıran herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Halbuki parmaklardaki taktil reseptörler, sadece basit dokunma hissini tespit eden sinir yapıları değil, aynı zamanda proprioepsiyon ile ilgili basınç miktarı, streognosis ve derin duyuları da algılayan hassas yapılardır. Bu yüzden çalışmamızda proprioepsiyon parametresinin içine duyu eşiği değerlendirmesi de ilave edilmiştir.

Çalışmamızda kullanılan diğer bir parametre, iki nokta ayırımıdır. İki nokta ayırımı, dorsal kolondaki proprioseptif iletim yolları ile taşınan önemli bir derin duyudur. İki nokta ayırımı, basit dokunma duyusundan daha karmaşıktır ve kuvvetli bir taktil hassasiyet gerektirir (74, 91, 107). Reseptörlerin bulunduğu bölge iki nokta ayırımında büyük bir rol oynar. Ne var ki literatürde, eli ve parmakları kontrol eden ön kol ve el bileği kassal yapıların eğitiminin, bu duyu üzerindeki etkilerini araştıran herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle vibrasyon ve egzersiz eğitiminin iki nokta ayırımı duyusuna olan etkisi de çalışmamızda araştırılmıştır.

Vibrasyon, genellikle katı ortamlarda yayılan ve dokununca hissedilen, büyük genlikli ve düşük frekanslı olan periyodik ve mekanik titreşimlere verilen genel bir isimdir. Vibrasyon duyusu ise, belirli kemiksi çıkıntılar üzerine salınımlı bir diyapazonu koyduğunuzda, titreşimi algılayabilme becerisidir. Bu titreşimler proprioseptif reseptörler olan Merkel diskleri ve Meissner korpüskülleri ile algılanır. Vibrasyon uygulamasının, genel olarak kinestezi hissini olumsuz yönde etkileyen bir uyarı olduğu söylenir (22, 110). Ancak aynı etki, eklem pozisyon hissi için tartışmalıdır. Her ne kadar kinestezi ve eklem pozisyon hissini komutları kas içiğinden köken alsa da, merkezi organizasyonu ve yorumlanması farklıdır (38). Tendon vibrasyonunun, eklem pozisyon hissini etkilediğini gösteren bazı çalışmalar vardır (3). Bunun yanında, Hagert'in el bileği proprioepsiyonu ile ilgili yazdığı derlemesinde, vibrasyonun eklem pozisyon hissini etkilemediğini belirtilmiştir (38). Fakat el bileği proprioepsiyonunun diğer komponentleri olarak sayılabilecek olan kavrama ve el basınç hassasiyetinin, vibrasyondan etkilenip etkilenmediğini gösteren çalışmalara literatürde rastlanmamıştır. El ve el bileğine has bir duyu olarak sayılabilecek olan bu kuvvet ve basınç hissini vibrasyon uygulamasından etkilenip etkilenmeyeceğini ölçmek, el bileği proprioepsiyonu hakkında daha doyurucu bir yorum yapmamıza olanak sağlamıştır. Bu yüzden çalışmamızda vibrasyonun el bileği proprioepsiyonuna olan olası etkileri araştırılmıştır.

Daha önce de belirtildiği gibi el bileği proprioepsiyonu ile ilgili çalışmamalar son derece kısıtlıdır. Hagert ve ark. skafolunat interosseöz ligamentin stimülasyonu sonrası ekstansör karpi radialis brevis, ekstansör karpi ulnaris, fleksör karpi radialis ve fleksör karpi ulnaris kaslarının olası EMG yanıtlarını izometrik kontraksiyon anında incelemişlerdir. Fleksör karpi radialis ve fleksör karpi ulnaris kasında ekstansiyon, radial ve ulnar deviasyonda eksitasyon saptamışlardır. Ayrıca el bileği fleksörlerinin izometrik kontraksiyonunda ekstansör karpi radialis kasında da eksitasyon olduğunu görmüşlerdir. El bileğindeki olası bu ligamento-musküler refleks arkının nöromusküler stabilizasyon için kanıt olabileceği yorumunda bulunmuşlardır (43). Bizim çalışmamızda da el bileğindeki kemik çıkıntılara

ve ligamentlerine vibrasyon uygulaması yaparak bunların el bileği propriosepsiyonuna olan etkisi gözlenmiştir.

Cavalcante ve ark.'nın 34 kadavranın trianguler fibrokartikajını histolojik olarak inceledikleri çalışmada, ağrı duyusundan sorumlu serbest sinir sonlanmalarının en çok ulnar ve dorsal tarafta; Pacini cisimciğinin ise en çok radial ve dorsal tarafta olduğu tespit edilmiştir. Ruffini korpüsküllerinin de homojen bir dağılım gösterdiği ortaya çıkarılmıştır. Triangular fibrokartilajın radial yırtıklarının, ağrı ve propriosepsiyon eksikliğine sebep olacağı ve ulnar tarafın hasarında ise eklem fizyolojik hareket sınırının algılanmasında aksamalara yol açacağı ifade edilmiştir (18). El bileğindeki reseptör organizasyonunun homojen bir dağılım göstermeyip farklı bölgelerde, farklı yoğunlukta ve çeşitlilikte olması, değişik el bileği hareketlerin proprioseptif ölçümünün sonuçlarında da farklılık yaratır. Bu nedenle değerlendirmemizde eklem pozisyon hissi hatası, tüm el bileği hareketleri sırasında ölçülmüştür.

Gay ve ark. el bileği eklem pozisyon hissi ölçümü için hareket izleme sistemi geliştirmişler ve 80 sağlıklı bireyde fleksiyon ve ekstansiyon hareketleri için pasif ve aktif olarak eklem pozisyon hissini değerlendirmişlerdir. Fleksiyon ve ekstansiyon hata ortalamalarını pasif harekette 4.9° , aktif harekette 5.9° bulmuşlardır (32). Patterson ve ark. el bileği eklem pozisyon hissini, kendilerinin geliştirdikleri gonyometre ile değerlendirmişler ve nötralde ve ekstansiyondaki hata miktarının 0° ile 3° arasında değiştiğini tespit etmişlerdir (89). Lee WH ve ark. lateral epikondilit ile ilgili yapmış oldukları bir çalışmada; el bileği ekstansör kasları bantlamasının, el bileği eklem pozisyon hissi ve ekstansör kasların kuvvet hassasiyetine olan etkilerini 15 hasta ve 15 sağlıklı birey üzerinde araştırmışlardır. Sonuçta lateral epikondilitli hastalarda eklem pozisyon hissi hata ortalamasını $3,13^\circ$, sağlam bireylerden oluşan kontrol grubunda ise $1,87^\circ$ bulmuşlardır (65).

Özgün olarak geliştirdiğimiz gonyometre ile eklem pozisyon hissini ölçtüğümüz bizim çalışmamızdaki hata ortalamalarının sonuçlarının literatür ile uyumlu olduğu söylenebilir. Bu durum; kullanılan yöntemler birbirinden

farklı olsa da, hata ortalamalarında uyumsuz bir sonuç çıkmadığını göstermiştir.

Literatürde; el bileğinde proprioseptif egzersizlerin etkilerini ve sonuçlarını araştıran herhangi bir çalışmaya henüz rastlanmamıştır. Diz, ayak bileği, omuz, dirsek eklemlerinde ve daha az olmakla beraber servikal ve lomber omurgada proprioseptif egzersizlerin etkileri araştırılmıştır (28, 61, 68, 96, 105). Genel olarak; proprioseptif egzersizlerin, kinestezi duyusuna, eklem stabilitesine, kas kuvvet ve enduransına olan olumlu katkıları sıklıkla vurgulanmakla birlikte, araştırmacılar şu soruyu kendilerine sormaktadırlar: *“Propriosepsiyon yetisi egzersizle gerçekten geliştirilebilir mi?”* (5, 6, 13, 25, 26, 38, 47, 49, 68, 75, 84, 103, 105, 113, 121, 128). Literatürde henüz cevabı kesin olarak verilemeyen bu ucu açık soru nedeni ile çalışmamıza alınan gruplardan birine proprioseptif egzersizler verilmiş ve proprioseptif egzersizlerin etkisi, klasik egzersiz grubu ve vibrasyon grubu ile karşılaştırılmıştır.

Noronha ve ark. ayak bileği lateral burkulmasının tahmini ve önlenmesi ile ilgili 7624 makaleden 21'ini seçip yazdıkları derlemede, ayak bileği burkulmasının olası sebepleri olarak; azalmış dorsifleksiyon EHA'sını, artmış postüral salınımı ve kötüleşmiş propriosepsiyonu göstermişlerdir (84). Benzer olarak; Eils ve Rosenbaum'um 6 haftalık multi-station proprioseptif egzersizlerin ayak bileğindeki etkisini araştırdıkları çalışmalarında, kronik ayak bileği instabilitesi olan 30 sporcunun (toplam 48 eklem) eklem pozisyon hissi, postüral salınımları ve tilt platform üzerinde ani inversiyona karşı kas reaksiyon zamanı değerlendirilmiştir. Uygulanan egzersizler sonrası her üç parametrede olumlu gelişmeler kaydetmişlerdir (26). Bu çalışmalara paralel olarak el bileğinde rastlanan kümülatif travmalar ve kırık sonrası görülebilen karpal instabilitelerde tespit edilecek olası zayıf propriosepsiyon, bu hastalıkların rehabilitasyonunda yeni ufuklar açacaktır (55).

Lin ve ark. 81 bilateral diz osteoartli hastada yaptıkları çalışmada, kapalı kinetik zincir egzersizleri ile bilgisayarlı proprioseptif fasilitasyon egzersizlerinin etkilerini karşılaştırmışlar; hareket tekrar hatasını, yürüme

hızını, fonksiyonel düzeyi ve kas kuvvetini değerlendirmişlerdir. Sonuçta, kontrol grubuna göre her iki egzersiz grubunda birbirine benzer olumlu gelişmeler elde etmişlerdir (68). Bizim çalışmamızda da Lin ve ark.'nın çalışmasında olduğu gibi proprioseptif eğitim grubunda PNF tekniklerini içeren detaylı bir egzersiz programı ile benzer sonuçlara ulaşılmıştır.

Mandelbaum ve ark. toplam 5703 bayan futbol oyuncusu üzerinde yaptıkları çalışmada; geleneksel ısınma egzersizlerine karşı futbola özel antrenman egzersizlerinin ön çapraz bağ yaralanma insidansı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. 2 sezon boyunca 207 takım (3818 sporcu) geleneksel ısınma yöntemini kullanmış, 97 takım (1885 sporcu) ise spora özel egzersiz yöntemi ile çalışmışlardır. 2 yıl boyunca; birinci grupta 67 ön çapraz bağ yırtığı rapor edilirken, ikinci grupta sadece 6 yırtığı rapor edilmiştir. Nöromusküler antrenman programının ön çapraz bağ yırtığı insidansını çarpıcı bir şekilde azalttığı sonucuna varmışlardır (72). Her ne kadar el bileği yaralanmaları ile ilgili bir parametremiz olmasa da, bizim çalışmamızın sonuçları, Mandelbaum ve ark.'nın bu sonucu ile birlikte yorumlandığında; üst ekstremitelerini sık kullanan meslek sahipleri ve profesyonel sporcular için tasarlanan koruyucu rehabilitasyon programlarına adapte edilecek el bileği proprioseptif egzersiz programlarının, olası yaralanmaların, iş gücü kayıplarının ve artan tedavi giderlerinin önüne geçilebileceği görüşünü ortaya çıkarmaktadır.

Kofotolis ve Kellis'in kronik bel ağrılı 86 kadında yapmış oldukları çalışmada, iki farklı proprioseptif nöromusküler fasilitasyon programının sonuçlarını araştırmışlar ve hastaları ritmik stabilizasyon, izotonik egzersiz ve kontrol olmak üzere üç gruba ayırmışlardır. 4 hafta boyunca verilen eğitim öncesi ve sonrasında, statik ve dinamik endurans ve lomber mobilite değerlendirilmiştir. Her iki egzersiz grubunda kontrol grubuna göre anlamlı farklar tespit etmelerine rağmen iki egzersiz grubu arasında anlamlı bir fark bulamamışlardır (61). Bu çalışmanın sonuçlarından farklı olarak; bizim çalışmamızdaki proprioseptif eğitim grubunda, proprioseptif egzersizler ve PNF tekniklerinin kullanımı, geleneksel el bileği egzersizlerine oranla istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde farklı çıkmıştır. Buna ilave olarak,

çalışmamızdaki bireylerin sağlıklı kişilerden oluştuğunu da düşünecek olursak; bu etkinin hasta bireyler üzerinde daha fazla olma ihtimali yüksektir.

Walsh ve ark. yorgunluk ve maksimum kuvvette azalma sağlayacak tekrardaki kısa süreli eksentrik egzersizin, ön kol pozisyon hissine olan etkisini araştırmışlardır. 12 sağlıklı denekle gerçekleştirilen bu çalışmada, ön kolun pozisyon hissini vertikal ve horizontal olarak kendilerinin tasarladıkları bir düzene ile egzersiz öncesi ve sonrası ölçmüşlerdir. Sonuçta, yorgunluğun pozisyon hissinde bozulma yarattığı sonucuna varmışlardır (85). Araştırmamızda; gerek ölçüm ve değerlendirmelerde, gerekse egzersiz eğitim programlarında en dikkat ettiğimiz noktalardan birisi de yorgunluk ve ağrı hissi olmuştur. Bu göstergeler, eğitim ve ölçüm sırasında bizim için bir bariyer ya da uyarı işareti olarak kabul edilmiştir. Değerlendirme sırasında bu işaretleri iyi görebilmek, sonuçların olağandan farklı çıkmasını engellemiştir. Ölçümler yapılırken gerektiğinde sık dinlenme araları verilmiş olup, ağrı ya da yorgunluk hissini sonuçlarımızı etkilemesi önlenmiştir. Egzersiz eğitiminde de, ağrı ve yorgunluk sinyallerine dikkat edilmiş; program yoğunluğu, bireyin kuvvet ve enduransına göre ayarlanmıştır.

El bileğinde aktif ve pasif germeleri, aproksimasyonları, manuel eklem traksiyonlarını, fasilitasyon tekniklerini ve egzersiz bantları ile çalışmalarını içeren proprioseptif egzersiz eğitimi grubunda, 30° fleksiyon pozisyonundaki eklem pozisyon hissinde istatistiksel olarak anlamlı gelişmeler kaydedilmiştir. Vibrasyon, klasik egzersiz grubu ve kontrol grubunda ise eklem pozisyon hissi açısından herhangi anlamlı bir değişiklik gözlenmemiştir. Bu sonuca göre, proprioseptif egzersiz eğitiminin el bileği eklem pozisyon hissini geliştirdiği gösterilmesine rağmen, literatürde sonuçlarımızı karşılaştırabilecek herhangi bir çalışmanın olmaması, bu konuda daha kesin yorumlara gidebilmemizi engellemektedir.

Kavrama hassasiyeti esasen, el ve el bileğindeki kassal yapıların gerilim miktarını tarifler. Kas içiği ve golgi tendon organı bu gerilim miktarını algılar ve iletir. Bu sayede proprioepsiyon dolaylı olarak değerlendirilebilmektedir.

Kuvvet hassasiyeti ve ağırlık tahmini keskinliği ile yapılmış sınırlı sayıda çalışma mevcuttur (23, 31, 52, 53, 57, 58). Dover ve ark. omuz ekleminin internal ve eksternal rotasyonunda inklinometre ile eklem pozisyon hissi ve dinamometre ile kuvvet tekrarının güvenilirliğini test etmişlerdir. 31 sağlıklı bireyin farklı günlerde yapılan eklem pozisyon hissi ve kuvvet hassasiyeti ölçümleri yapılmış; sonuçta her iki değerlendirme yönteminin de güvenilir olduğu saptanmıştır (25). Bizim çalışmamızda da Dover ve ark.'nın çalışmalarında olduğu gibi el bileğinde hem eklem pozisyon hissi, hem de kavrama hassasiyeti değerlendirilmiş; vibrasyon uygulamasının, geleneksel ve proprioseptif egzersiz programlarının bu parametrelere olan etkileri karşılıklı olarak araştırılmıştır. 3 haftalık proprioseptif eğitim sonrası, propriosepsiyon grubundaki bireylerin kavrama hassasiyetinde ve eklem pozisyon hissinde diğer gruplara oranla anlamlı bir artış gözlenmiştir.

Meanhaut ve ark.'nın 2012 yılında yayınlamış oldukları yeni bir çalışmada; rotator manşet tendinopatisi olan hastalarda, propriosepsiyonu kuvvet tekrarı ile değerlendirmişlerdir. Çalışmalarına 36 rotator manşet tendinopatili hasta ve 30 sağlıklı birey katılmıştır. İzometrik dinamometre ile omuz internal ve eksternal rotasyon kuvvet hassasiyet hatasını ölçmüşlerdir. Hasta grubundaki bireylerin hedef kuvvet hata ortalamalarını kontrol grubuna göre istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yüksek bulmuşlar ve sonuç olarak; rotator manşet tendinopatili hastaların rehabilitasyonunda kuvvet hassasiyeti parametresinin de göz önünde bulundurulması gerektiğini vurgulamışlardır (78). Bizim çalışmamızın sonucuna göre de, sağlıklı bireylerde el kavrama kuvveti hassasiyeti, proprioseptif egzersiz ile geliştirilebilen bir parametredir. Bizim ve Meanhaut ve ark.'nın çalışmalarının sonucunu da göz önünde bulunduracak olursak; kuvvet hassasiyeti, belirli tendinopatilerden ve yaralanmalardan olumsuz yönde etkilendiği gibi, sağlıklı kişilerde de proprioseptif egzersiz ile de geliştirilebilen bir ölçüttür. Bu bağlamda, rehabilitasyon programlarında sadece EHA, maksimum kuvvet ve ağırlık şiddeti değil, aynı zamanda kas kuvvet hassasiyet hatası da önemli bir parametre olabilir.

Dale ve ark. 8 profesyonel metal montaj işçisinin el kuvvet hassasiyetini çeşitli hedef kuvvetlerle değerlendirmişler ve işçilerin kullandığı 6 farklı pnömomatik iş aletine monte edilen sensörleri kullanarak bu aletlerin işle ilgili kullanımı sırasında kas kuvvet hassasiyetini ölçmüşlerdir. Sonuçta, işçilerin el kuvvet hassasiyeti ile aletlerin 4 'ünün kullanımı arasında orta derecede ilişki saptanırken, iki aletin kullanımı ile el kuvvet hassasiyeti arasında düşük bir ilişki bulunmuştur (23). Buna göre el kavrama ve kas kuvvet hassasiyetinin ölçümü, sadece ortopedik rehabilitasyon açısından değil, iş- uğraşı ve mesleki rehabilitasyon programları açısından da önemlidir. Zira bu hassasiyet, aynı zamanda el fonksiyonları için gerekli yetinin ve kabiliyetin göstergesidir (67, 92).

Chang ve ark.'nın yaptıkları bir çalışmada ön kola uygulanan kinesio-taping bantlama yönteminin maksimum kavrama kuvvetine ve kavrama hassasiyetine olan etkisi araştırılmıştır. 21 sağlıklı atlet üzerinde yapılan çalışmada, Jamar hidrolik el dinamometresi ile maksimum kuvvet ve kavrama kuvvetinin hassasiyeti ölçülmüştür. Bantlama yapılmadan, plasebo bantlama sonrası ve kinesio-taping bantlama sonrası olmak üzere üç durumda değerlendirme yapılmıştır. Sonuçta, ön kolun iç yüzüne yapılan kinesio-taping bantlamanın, maksimum kavrama kuvvetinde herhangi bir artış sağlamadığı tespit edilmiş; ancak bantlamanın kavrama hassasiyetini artırdığı gözlemlenmiştir (19). Ön kol kasları terapatik elastik bantla uyarılabildiği gibi, bizim çalışmamızdaki egzersiz protokolünde kullandığımız PNF teknikleri, darbeleme ve germe ile de uyarılabilir. Proprioseptif eğitim grubumuzdaki kavrama ve el basınç hassasiyetinde görülen anlamlı artışlar, bu uyarılabilirliği de desteklemektedir.

Chang ve ark. 2010 yılında yapmış oldukları çalışma; dinamometre ile kavrama hassasiyetini değerlendiren tek çalışma olarak karşımıza çıkmaktadır. Keza, çalışmanın yazarları ön kolda kuvvet hassasiyetini değerlendiren bir araştırmanın olmadığını makalelerinin tartışma bölümünde belirtmişlerdir. Bununla ilgili olarak el kavrama hassasiyetini değerlendiren, proprioseptif egzersizlerin bu hassasiyete olan etkisini inceleyen ve bu etkiyi farklı uygulamalarla karşılaştıran tek çalışma olması nedeniyle çalışmamız

literatüre ışık tutmaktadır. Chang ve ark'nın ve bizim çalışmamızın sonuçlarını daha iyi tartışabilmemiz ve daha kesin yorumlarda bulunabilmemiz için, el ve el bileği proprioepsiyonu ile ilgili geniş serili ve randomize kontrollü ileri çalışmalara ihtiyaç vardır.

Ön kol ve el bileği kontraktıl yapıların proprioseptif egzersizler ve uygulamalar ile çalıştırılması, sadece maksimum kuvvet ve enduransta artış değil, aynı zamanda bu yapıların ilgili organı olan elin hassasiyetinde de gelişme sağlamıştır. Bu sonuç, proprioseptif egzersizlerin ve uygulamaların, kastaki gerilimden sorumlu intra-eksta füzal kas liflerinin, kas içiğinin ve golgi tendon organının uyarılma eşiğindeki azalmadan ve bunların spinal ve santral organizasyonundaki artışından kaynaklandığı düşünülmektedir (109).

Çalışmamızın diğer bir özgün bir parametresi olan el basınç hassasiyeti, esasen omurga kasları eğitimi için kullanılan *Stabilizer Pressure Biofeedback®* aleti ile değerlendirilmiştir. Sonuçta her iki egzersiz grubunda da istatistiksel olarak anlamlı yönde gelişmeler kaydedilmiştir; ancak gruplar arası bu farklılığın, proproseptif eğitim grubundan kaynaklandığı bulunmuştur. Buna göre; el bileği fonksiyonlarında çok önemli bir parametre olan el basınç hassasiyetinin, proprioseptif eğitim ile çok daha etkin olarak geliştirilebildiği ortaya çıkarılmıştır.

El basınç hassasiyetinin, sadece çalışmamızın sonuçlarına bakılarak; eklem pozisyon hissi, kinestezi ve denge gibi proprioepsiyonun belirli bir kısmını temsil ettiğini söylemek için henüz erken olsa da, el ve el bileği proprioepsiyonu ile ilgili muhtemel yeni bir gösterge olabilir. Bu konuda yapılacak olan ileri çalışmalar ile hem kutanöz hassasiyet, hem de kas gerilimini barındıran el basınç hassasiyetinin el ve el bileği proprioepsiyonuna özel bir değişken olabileceği araştırılabilir ve bu sayede yeni bir ölçüm yöntemi geliştirilebilir.

Çalışmamızda ayrıca, Semmes-Weinstein monofilamentleri ile parmak uçlarının duyu eşiği değerlendirilmiştir. Proprioseptif egzersiz grubundaki kişilerin yüzük parmağı duyusunun eğitim sonrası geliştiği tespit edilmiştir. Yüzük pamağının duyusundaki bu gelişme, günlük yaşam aktivitelerindeki el fonksiyonları sırasında en az kullanılan yüzük parmağının proprioseptif eğitim

ile özel olarak uyarılmasından kaynaklanabilir. Proprioseptif eğitimin diğer parmaklarda bir fark yaratmaması, o parmakların el fonksiyonları sırasında sıklıkla kullanılıyor olmasından ve verilen eğitimle anlamlı bir fark yaratacak bir değişikliğe uğramamasından kaynaklanabilir. Ayrıca vibrasyon grubundaki kişilerde işaret parmağı duyu eşiğinin, vibrasyon uygulaması sonrasında arttığı gözlemlenmiştir. Bu da vibrasyon uygulamasının illüzyon etkisi ile proprioseptif duyuyu azaltmasından kaynaklanabilir. Ayrıca elde üçlü kavrama ve çimdikleme başta olmak üzere birçok kavrama tipi ve el fonksiyonlarında işaret parmağının aşırı kullanımı ile hassasiyetin azalması da söz konusu olabilir. Bunlar dışında diğer gruplardaki parmakların duyu eşiğinde herhangi bir değişim olmamıştır.

Grup içi değerlendirmelerde istatistiksel olarak anlamlı sonuçları olan yüzük parmağı duyu eşiği değerlendirmesi, gruplar arası farka bakıldığında anlamlı bir fark göstermemiştir. Ancak aynı sonuçların daha büyük örneklem grubu ile çalışılması durumunda, gruplar arasında fark çıkma ihtimali de bulunmaktadır. Sağlıklı kişilerde egzersizin duyu eşiğine olan muhtemel etkilerini araştıran herhangi bir çalışmaya rastlanmaması nedeniyle bu çalışmanın sonuçları ile ilgili yorumlar ileriki çalışmaların sonuçları ile karşılaştırılarak daha doğru olarak yapılabilir.

Parmaklardaki dokunma duyusu proprioseptif reseptörlerden daha çok taktil reseptörlerle algılanmaktadır. Ancak duysal ileti yolları ile proprioseptif ileti yolları arasındaki kompleks etkileşimi unutmamak gerekir. Ne var ki bu reseptörleri görüntülemek ve bunları tek tek stimüle ederek incelemek çok güç olduğundan farklı reseptör tiplerinin görevlerinin belirlenmesi hala birçok durumda varsayıma dayanmaktadır (81).

Çalışmamızın belki de en çarpıcı ve beklenilmeyen sonucu, iki nokta ayırımı hassasiyeti değerlendirmesinde ortaya çıkmıştır. İki nokta ayırımı değerleri, vibrasyon uygulaması ve geleneksel egzersiz eğitimi sonrasında değişmezken, proprioseptif egzersiz eğitimi sonrasında işaret parmağı haricindeki diğer parmaklarda istatistiksel olarak anlamlı düzeyde bir artış göstermiştir.

İki nokta ayırımı, basit dokunma duyusundan daha karmaşıktır ve kuvvetli bir taktil hassasiyet gerektirir (74, 91, 107, 114). Öncelikle reseptör alan iki nokta ayırımında büyük bir rol oynar. Sinir sistemi içindeki spinal kord, subkortikal yapılar ve serebral korteks gibi inhibitör mekanizmalar iki nokta ayırımının işlenmesine katkıda bulunurlar (88). Bu duyu, şuurlu propriosepsiyonun ve derin duyuların taşındığı posterior kolonda yer alır. Kortikal seviyede, afferent sinyaller kognitif ve psikolojik faktörlerle modüle edilirler. Ancak, iki nokta ayırımının kortekste nasıl işlendiği henüz net olarak anlaşılammıştır (8, 29, 114). Yaş, psikolojik faktörler, motivasyon, ortam ısı gibi etmenlerden etkilenmektedir (35, 70, 83, 95, 107). Şizotipi (şizofren benzeri) hastalarında sağlıklı bireylere göre farklılık olduğunu gösteren çalışmalar vardır (66).

İki nokta ayırımı değerlendirmesi yapılan çalışmalar; daha çok sinir yaralanmaları, beyinde pariyetal bölge hasarları, inme gibi durumlarda yapılmıştır (10, 30, 90). Bizim sonuçlarımız sağlıklı bireylerde el bileğine uygulanan proprioseptif eğitimin, iki nokta ayırımı hassasiyetini artırdığını işaret etmektedir. Literatürde bu duyunun sağlıklı bireylerdeki ve sinir hasarı olan kişilerdeki durumu incelenmişse de, egzersiz ile geliştirilebilen bir duyu olduğu hakkında bir araştırmaya henüz rastlanmamıştır. Aldığımız sonuçlara göre yapılabilecek en muhtemel yorum; *“iki nokta ayırımı duyusunun reseptörleri taktil reseptörler ile her ne kadar aynı olsa da, taşındığı yollar ve yorumlandığı merkezler taktil duyusuna ait olan yollar ve merkezlerden farklı yerlerdir. Bu yollar ve merkezler de, propriosepsiyonun derin duyu alanlarıdır ki, uygulanan proprioseptif eğitiminin bu duyunun bir ölçüde reprezentasyonunu ve hassasiyetini geliştirmiştir”* olabilir.

Vibrasyon duyusu, belirli kemiksi çıkıntılar üzerine salınımlı bir diyapazonu koyduğunuzda, titreşimi algılayabilme becerisidir (14, 73). Bu duyu, şuurlu propriosepsiyon yolları olan dorsal kolondan santrale taşınır. Gevşemiş haldeki kasın tendonuna uygulanan mekanik vibrasyon, aynı ya da antagonist kasta kontraksiyona neden olur. Tendona uygulanan vibrasyon uygulaması sonrasında bile istemsiz kasılmalar olmaktadır. Bu post-vibrasyon motor etki, birçok açıdan güçlü izometrik istemli kontraksiyonlar

sonrası görülen istemsiz kasılmalara benzer olabilir. Bu istemsiz kasılmaların nedeninin, kas içiği primer sonlanmalarının güçlü deşarjları olduğu söylenmektedir (97). Yine, kasın boyunun miktarı hakkında santral sinir sistemine ayrıntılı bilgiler taşıyan kas içiğinin uyarılması sonucu kişi, illüzyonel şekilde kas boyunun değıştiğini sanır. Başka bir deyişle kişi, vibrasyon sonrası hareket etmediği halde hareket ediyormuş gibi algılar (54, 60).

Özet olarak proprioepsiyon, gerek sensöriyel gerekse motor açıdan el bileği için çok kritik bir parametre olmasına karşın; literatürde, bu konuda yapılan nadir deneysel ve klinik çalışmalar ile karşılık bulmaktadır. Bu çalışmalarda el bileği proprioepsiyonu sadece eklem pozisyon hissi ve kinestezi ile temsil edilmiştir. Halbuki el bileği, proprioepsiyon algısı ile, elin günlük hayatta yapmış olduğu sayısız hareket ve beceriye öncülük eden bir eklemdir (59, 100). Sonuçlarımız; sağlıklı kişilerde proprioseptif eğitimin, el bileğindeki proprioepsiyonla ilgili birçok parametreyi geliştirdiğini göstermektedir.

Proprioepsiyon algısının yeterli ölçüde değerlendirilmesi, belirli el ve el bileği patolojilerindeki durumunun tespiti, elin ve el bileğinin çok daha iyi anlaşılmasını sağlayacaktır. Spesifik rehabilitasyon programları ile proprioepsiyonun restorasyonu, tedavide daha mükemmel sonuçların alınmasını sağlayacaktır (118).

5.1 Çalışmanın Limitasyonları

1) "Proprioepsiyon" teriminin tarihi yüzyılı aşkın bir süre olmasına karşın, değerlendirmede kullanılan yöntemler ile ilgili henüz bir altın standart yoktur. Klinikte proprioepsiyon değerlendirmesi için basit gonyometrelerden sofistike elektronik hareket analiz düzeneklerine varıncaya kadar geniş bir yelpazede ölçüm sistemleri kullanılmaktadır (28, 38, 111).

2) Eklem pozisyon hissi değerlendirmesinde kullanılan ve bizim de çalışmamızda kullandığımız hareket tekrar yöntemi birçok açıdan eleştirilmektedir (37, 38, 111). Entelektüel düzey, kutanöz etkilenim, hafıza

yeti, dikkatin dağılması, motivasyon düzeyi, yorgunluk, test edilen hareketin tekrar sayısı, hareketin yönü ve öğrenme etkisi gibi faktörler ölçümün nesnellliğini olumsuz etkilemektedir. Ayrıca güvenilirlik ve geçerlilik konusunda da çelişkili sonuçlar vardır (4, 7, 77, 123, 124, 126).

3) Kavrama hassasiyeti ve el basınç hassasiyeti ölçümlerimizde de, eklem pozisyon hissi değerlendirmemizde olduğu gibi belirli bir kuvvetin tekrarı söz konusu olduğu için yukarıda sıralanan eleştiriler bu parametreler için de hiç şüphesiz söylenebilir.

4) Proprioepsiyonun bir parçası olan kinestezi, çalışmamızda değerlendirilmemiştir. Pasif hareket algıma eşiği yöntemi ile değerlendirilen kinestezi için izokinetik sistemlerden yararlanılmaktadır. Bu yöntem, sadece yavaş adapte olan reseptörlere yoğunlaştığından ve kutanöz uyarı etkisinden dolayı eleştirilmektedir (38).

4) Toplam 60 sağlıklı birey ile gerçekleştirilen çalışmamızda, bireyler rastgele dört gruba ayrılmış ve her grupta 15 birey olmasından dolayı çalışmanın istatistiksel analizinde non-parametrik testler kullanılmıştır. Gruplardaki kişi sayısının azlığı nedeniyle istatistiksel testlerin hassasiyetindeki azalma bazı sonuçların doğruluğunu etkilemiş olabilir.

5) Araştırmamızda el bileğinde proprioseptif egzersiz eğitiminin proprioseptif parametreler üzerindeki olumlu sonuçları tespit edilmiştir. Ancak tartışmamızda daha evvel belirttiğimiz gibi; literatürde benzer çalışmaların olmayışı ya da ulaşılabilir yayınların olmayışı, sonuçlarımızın karşılaştırmasını ve yorumlanmasını güçleştirmektedir. Öte yandan araştırmamızın özgünlüğü, bu konuda yapılacak olan ileri araştırmalara yol göstermesi açısından oldukça önemlidir.

6) Proprioepsiyonun en önemli komponenti olmasına karşın tartışmalarda çok bahsedilmeyen “şuuraltı proprioepsiyon”, objektif olarak ölçülemediği için bu çalışmada değerlendirilememiştir; ancak bu durum konu ile ilgili tüm çalışmalar için bir limitasyonudur. Denge ve postürün devamı, sinerjist kas kontrolü ve antagonist inhibisyon, hareketin koordinasyonu, eklem stabilizasyonu gibi bir çok bilgi şuuraltı proprioepsiyon ile santrale taşınmaktadır (115). Bu bilgilerin yolları da şuuraltı proprioepsiyondan

farklıdır. Ayrıca şuuraltı proprioepsiyonun afferentleri adından da anlaşılacağı gibi kortekse ulaşmaz ve farklı bölgelerde yorumlanır. Şuuraltı proprioepsiyonun spinal ve supra-spinal refleks yolları deneysel EMG çalışmaları ile yapılmaya çalışılsa da (43, 99), klinik olarak etkilerini ölçmek henüz mümkün değildir.

6. SONUÇLAR

1) Proprioseptif egzersiz grubunda egzersiz eğitimi sonrası 30° fleksiyon yönünde eklem pozisyon hissi hata miktarında anlamlı azalma tespit edilmiş; diğer hareketlerde ise anlamlı bir değişiklik görülmemiştir. Bu durum el bileğinde yapılan proprioepsiyon eğitiminin eklem pozisyon hissine olan olumlu katkısını göstermektedir.

2) Kavrama hassasiyeti parametresi proprioseptif egzersiz sonrası anlamlı ölçüde keskinleşmiştir. El ve el bileğine özel sayılabilecek olan bu duyu, sinerjist kasların uyumu ve kas içiğinden giden kusursuz bilgi ile algılanıp yorumlanmaktadır. Bu sonuca göre, el bileği değerlendirmesinde sadece eklem hareket açıklığı ve maksimum kuvvet ölçümü değil, aynı zamanda kavrama hassasiyeti gibi ölçüklerin geliştirilmesi, değerlendirmelerin ve rehabilitasyonun etkilerini göstermesi yönünden oldukça önemlidir.

3) El basınç hassasiyeti değerlendirmesi ilk kez çalışmamızda kullanılmıştır. Her iki egzersiz grubunda üç haftalık çalışma sonucu bu parametrede de anlamlı düzeyde gelişmeler tespit edilmiştir. El basınç hassasiyetinin kavrama hassasiyetine çok benzer olmasının yanında, bu duyunun kavrama hassasiyetinden farkı; avuç içi basıncı algılayan reseptörlerin daha ön planda olması ve el bileği dışında elin daha iyi değerlendirilebilmesine olanak sağlamasıdır. Bu nedenle, bu ölçüm yönteminin; el ile ilgili mesleki rehabilitasyonda önemli bir ölçüt olacağı ve tedavi sonuçlarını daha detaylı olarak değerlendirilebilmesine olanak sağlayacaktır. Fizyoterapistlerin klinikteki uygulamalarının etkinliğini veya proprioepsiyonunu değerlendirmek için pratik olarak kullanabilecekleri bir ölçüm yöntemi olarak hem klinik hem de bilimsel çalışmalarda yer alabilir.

4) Parmakların duyu eşiği Semmes-Weinstein monofilamentleri ile değerlendirilmiştir. Vibrasyon grubunda uygulama sonrası işaret parmağının

duyu eşiği istatistiksel olarak artmıştır. Buna karşın proprioseptif egzersiz grubunda yüzük parmağın duyu eşiği azalmıştır. İşaret parmağının günlük yaşama aktivitelerinde daha çok kullanılması ve vibrasyon ile işaret parmağındaki reseptörlerin izole olarak fasilite edilmesi bu sonucu çıkarabilir. Bunun tam tersi proprioepsiyon grubunda yüzük parmağında duyu eşiğinin azalması, proprioepsiyon egzersizlerinde bu parmağın diğer parmaklar kadar egzersizden aktif olarak etkilenmemesinden kaynaklanabilir. Çünkü el kavramalarında üçlü kavrama, kaba kavrama ve opozisyonel kavramalar sırasında daha çok başparmak, işaret parmağı ve serçe parmak kullanılmakta, yüzük parmağı daha az aktif olmaktadır. Bu durum gruplardaki örneklem sayısının küçük olmasından da kaynaklanabilir.

5) İki nokta ayırımı hassasiyeti proprioseptif egzersiz grubunda işaret parmağı dışındaki diğer tüm parmaklarda egzersiz eğitimi sonrası istatistiksel olarak anlamlı derecede artmıştır. İki nokta ayırımı hassasiyetinin sağlıklı bireylerde geliştirilebilen bir duyu olduğunu ya da aksini belirten bir araştırmaya henüz rastlanmamıştır. Bu çarpıcı sonuç; iki nokta ayırımının dorsal kolon proprioseptif yolları kullanması ile çalışılan stabilizasyon, perturbasyon ve proprioseptif fasilite egzersizlerinin, iki nokta ayırımı merkezlerini indüklediği ve bu duyuyu geliştirebileceği yorumunu çıkarılabilir.

6) El bileğinde egzersiz eğitiminin proprioseptif komponentler üzerine olan etkisini araştıran herhangi bir çalışmaya literatürde rastlanmamıştır. Çalışmamızın sonuçlarına göre; egzersizin birçok parametreye olan olumlu katkısı gösterilmesine karşın, daha büyük örneklemelerde ve çeşitli el bileği patolojilerindeki durumu araştırılmalıdır. Böylelikle proprioseptif egzersizin olası faydaları daha kesin cümlelerle vurgulanabilir.

Birçok çalışmada egzersizin proprioepsiyon için önemi ve yaralanmaların önlenmesindeki olumlu etkisi vurgulanmıştır. Ancak el bileği proprioepsiyonu üzerine olan çalışmalar yok denecek kadar azdır. El bileğine verilecek olan proprioseptif eğitimin, fizyoterapi ve rehabilitasyon

programları içine dahil edilmesi zaman içinde daha da artacaktır. Ancak birçok klinisyen bu konuda daha güçlü kanıtlar beklemektedir.

El ve el bileğinin insan yaşamındaki önemi hiç şüphesiz çok büyüktür. Günlük yaşam aktiviteleri, meslek, spor, rekreasyon gibi aktivitelerde primer organ olan el bileğinin tüm fonksiyonlarında proprioepsiyon çok önemli bir yer tutar. El ve el bileği proprioepsiyonu ile ilgili yapılan ve yapılacak olan çalışmaların, en az diğer eklemlerde yapılanlar kadar çok ve çeşitli olması bu konudaki fikirlerin gelişmesine katkı sağlayacaktır.

Bu nedenle son yıllarda birçok histolojik, deneysel ve özellikle ayak bileği, diz ve omuz gibi eklemlerin proprioepsiyonu gibi klinik çalışmalar yapılmasına ve yapıyor olmasına karşın proprioepsiyon; hala pek çok bilinmezi içermektedir. Proprioepsiyon, ağının karmaşıklığı ve lokomotor sistemdeki kompleks yaplanması ile çözülmeyi bekleyen oldukça fazla soru işaretini barındırmaktadır. Proprioepsiyonun aydınlanmayı bekleyen karanlık yönleri birçok araştırmacıya ilham kaynağı olmaktadır.

7. KAYNAKLAR

1. Akseki D., Akkaya G., Erduran M. ve Pınar H. (2008). Patellofemoral Ağrı Sendromunda Diz Eklemine Propriyosepsiyonu. *Acta Orthopedica et Traumatologica Turcica*, 42(5), 316-321.
2. Akseki D., Erduran M., Özarıslan S. ve Pınar H. (2010). Patellofemoral Ağrı Sendromu Saptanan Hastalarda Dizde Vibrasyon Duyusu, Propriosepsiyon Duyusu ile Paralel Olarak Algılanmaktadır: Pilot Çalışma. *Eklem Hastalıkları ve Cerrahisi*, 21(1), 23-30.
3. Allum J. H. J., Bloem B. R., Carpenter M. G., Hulliger M. ve Hadders-Alga M. (1998). Proprioceptive control of posture: a review of new concepts. *Gait and Posture*, 8, 214-242.
4. Anwar M. N., Tomi N. ve Ito K. (2011). Motor imagery facilitates force field learning. *Brain Research*, 1395, 21-29.
5. Ashton-Miller J. A., Wojtys E. M., Huston L. J. ve Fry-Welch D. (2001). Can proprioception really be improved by exercises? *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 9, 128–136.
6. Austin J. H. ve Ausubel P. (1992). Enhanced respiratory muscular function in normal adults after lessons in proprioceptive musculoskeletal education without exercises. *Chest*, 102, 486-490.
7. Barden J. M., Balyk R., Raso V. J., Moreau M., ve Bagnall K. (2005). *Human Movement Science*, 24, 184-205.
8. Beard D.J., Kyberd P.J., Fergusson C.M., Dodd C.A.F. (1993). Proprioception after rupture of the anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg [Br]* 75-B: 311-315.
9. Beckmann Y.Y., Çiftçi Y. ve Ertekin C. (2012). The detection of sensitivity of proprioception by a new clinical test: the dual joint position test. *Clinical Neurology and Neurosurgery*, article in press
10. Bertrand A. M., Mercier C., Shun P. L. W., ve Bourbonnais D. (2004). Effects of weakness on symmetrical bilateral grip force exertion in subjects with hemiparesis. *Journal of Neurophysiology*, 91, 1579-1585.
11. Borchers S., Hauser T. ve Himmelbach M. (2011). Bilateral hand representations in human primary proprioceptive areas. *Neuropsychologia*, 49, 3383-3391.
12. Bosco C. ve Poppele R. E. (2001). Proprioception from a spinocerebellar perspective. *Physiological Reviews*, 81(2), 539-568.

13. Burke D. G., Holt L. E., Rasmussen R., MacKinnon N. C., Vossen J. F. ve Pelham T. W. (2001). Effects of hot or cold water immersion and modified proprioceptive neuromuscular facilitation flexibility exercise on hamstring length. *Journal of Athletic Training*, 36(1), 16-19.
14. Button C., Davids K., Bennett S. J. ve Taylor M.A. (2000). Mechanical perturbation of the wrist during one-handed catching. *Acta Psychologica*, 105, 9–30.
15. Campbell, W. A. (2004). *DeJong's The Neurologic Examination* (N. Çelebisoy, Çev.). (s.429-449). Ankara: Güneş Tıp Kitabevleri. (2008).
16. Cardoso R., Szabo R.M. (2007). Wrist anatomy and surgical approaches. *Orthop Clin N Am*, 38, 127-148.
17. Caudron S., Nougier V. ve Guerraz M. Postural challenge and adaptation to vibration-induced disturbances. (2010). *Experimental Brain Research*, 202, 935-941.
18. Cavalcante M. L. C., Rodrigues C. J. ve Mattar R. M. (2004). Mechanoreceptors and nerve endings of the triangular fibrocartilage in the human wrist. *Journal of Hand Surgery*, 29A, 432-435.
19. Chang H., Chou K., Lin J. ve Wang C. (2010). Immediate effect of forearm Kinesio taping on maximal grip strength and force sense in healthy collegiate athletes. *Physical Therapy in Sports*, 11, 122-127.
20. Chye L., Nosaka K., Murray L., Edwards D. ve Thickbroom G. (2010). Corticomotor excitability of wrist flexor and extensor muscles during active and passive movement. *Human Movement Science*, 29, 494-501.
21. Cody F. W. J. ve Plant T. (1989). Electromyographic reflexes evoked in human wrist flexors by tendon extension and by displacement of the wrist joint. *Journal of Physiology*, 411, 379-392.
22. Cody F. W. J., Schwartz M. P. ve Smit G. P. (1990). Proprioceptive guidance of human voluntary wrist movements studied using muscle vibration. *Journal of Physiology*, 427, 455-470.
23. Dale A. M., Rohn A. E., Standeven J. ve Evanoff B. (2011). Variability and misclassification of worker estimated hand force. *Applied Ergonomics*, 42, 846-851.

24. Dimitriou M. ve Edin B. B. (2008). Discharges in human muscle receptor afferents during block grasping. *The Journal of Neuroscience*, 28 (48), 12632–12642.
25. Dover G. ve Powers M. E. (2003). Reliability of joint position sense and force-reproduction measures during internal and external rotation of the shoulder. *Journal of Athletic Training*, 38(4), 304-310.
26. Eils E. ve Rosenbaum D. (2001). A multi-station proprioceptive exercise program in patients with ankle instability. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(12), 1991-1998.
27. Erdem E. U. (2007). *Servikal spondilozda eklem pozisyon hissi, kas kuvveti ve fonksiyonel düzey arasındaki ilişki*. Yüksek lisans tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
28. Erdem E. U., Can F. (2012). Servikal omurga aksiyel rotasyon gonyometre dizaynı. SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 16(3), 337-341.
29. Fasold O., Heinau J., Trenner M. U., Villringer A. ve Wenzel R. (2008). Proprioceptive head posture-related processing in human polysensory cortical areas. *NeuroImage*, 40, 1232-1242.
30. Fırat T., Ayhan Ç., Kırdı N. ve Leblebicioğlu A. G. (2011). Median, Ulnar ve Radial Sinirin İnervasyon Paternlerinin Belirlenmesi. *Fizyoterapi Rehabilitasyon*, 22(1), 11-16.
31. Gandevia S. C. ve Kilbreath S. L. (1990). Accuracy of weight estimation for weights lifted by proximal and distal muscles of the human upper limb. *Journal of Physiology*, 432, 299-310.
32. Gay A., Harbst K., Hansen D. K., Laskowski E. R., Berger R. A. ve Kaufman K. R. (2011). Effect of partial wrist denervation on wrist kinesthesia: wrist denervation does not impair proprioception. *Journal of Hand Surgery*, 36A, 1774-1779.
33. Gay A., Harbst K., Kaufman K. R., Hansen D. K., Laskowski E. R. ve Berger R. A. (2010). New method of measuring wrist joint position sense avoiding cutaneous and visual inputs. *BioMed Sciences Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 7, 1-7.
34. Goble D. J. ve Brown S. H. (2009). Dynamic proprioceptive target matching behavior in the upper limb: effects of speed, task difficulty and arm/hemisphere asymmetries. *Behavioural Brain Research*, 200, 7-14.

35. Goble D. J., Lewis C. A., Hurvitz E. A. ve Brown S. H. (2005). Development of upper limb proprioceptive accuracy in children and adolescents. *Human Movement Science*, 24, 155-170.
36. Goble D. J., Noble B. C. ve Brown S. H. (2010). Where was my ar again? Memory-based matching of proprioceptive targets is enhanced by increasing target presentation time. *Neuroscience Letters*, 481, 54-58.
37. Grob K. R., Kuster M., S., Higgins S. A., Llyod D., G. ve Yata H. (2002). Lack of correlation between different measurements of proprioception in the knee. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 84B, 614-618.
38. Hagert E. (2010). Proprioception of the wrist joint: a review of current concepts and possible implications on the rehabilitation of the wrist. *Journal of Hand Therapy*, 144, 1-17.
39. Hagert E. ve Hagert C. (2010). Understanding stability of the distal radioulnar joint through an understanding of its anatomy. *Hand Clinics*, 26, 459-466.
40. Hagert E. ve Persson J. K. (2010). Desensitizing the posterior interosseous nerve alters wrist proprioceptive reflexes. *Journal of Hand Surgery*, 35A, 1059-1066.
41. Hagert E., Garcia-Elias M., Forsgren S. ve Ljung B. (2007). Immunohistochemical analysis of wrist ligament innervation in relation to their structural composition. *Journal of Hand Surgery*, 32A, 30-36.
42. Hagert E., Lee J. ve Ladd A. L. (2012). Innervation patterns of thumb trapeziometacarpal joint ligaments. *Journal of Hand Surgery*, 37A, 706-714.
43. Hagert E., Persson J. K. E., Werner M., Ljung B. (2009). Evidence of wrist proprioceptive reflexes elicited after stimulation of the scapholunate interosseous ligament. *Journal of Hand Surgery*, 34, 642-651.
44. Haloua M. H., Sierevelt I. ve Theuvenet W. J. (2011). Semmes-Weinstein monofilaments: influence of temperature, humidity, and age. *Journal of Hand Surgery*, 36A, 1191-1196.
45. Hepp-Reymond M. C., Chakarov V., Schulte-Mönting J., Huete F., ve Kristeva R. (2009). Role of proprioception and vision in handwriting. *Brain Research Bulletin*, 79, 365-370.

46. Horak F. B. (2010). Postural compensation for vestibular loss. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 28(1), 57-68.
47. Hupperets M. D. W., Verhagen E. A. L. M. ve ven Mechelen W. (2009). Effect of unsupervised home based proprioceptive training on recurrences of ankle sprain: randomised controlled trial. *British Medical Journal*, 339, 1-6.
48. Ijkema-Paassen J. ve Gramsbergen A. (2005). Development of postural muscles and their innervation. *Neural Plasticity*, 12, 141–151.
49. Jette A. M., ve Delitto A. (1997). Physical therapy treatment choices for musculoskeletal impairments. *Physical Therapy*, 77(2), 145-154.
50. Johnstone J. A., Bobich L. R. ve 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, 104-108.
51. Jones H.R., (2005). *Netter's Neurology*. (s2-38). USA: Icon Learning Systems.
52. Jones L. A. (2003). Perceptual constancy and the perceived magnitude of muscle forces. *Experimental Brain Research*, 151, 197-203.
53. Jones L.A. ve Piatetski E. (2006). Contribution of tactile feedback from the hand to the perceptive of force. *Experimental Brain Research*, 168, 298-302.
54. Jöbges E. M., Elek J., Dengler J. D. ve Wolf W: (2002). Vibratory proprioceptive stimulation affects Parkinsonian tremor. *Parkinsonizm and Related Disorders*, 8, 171-176.
55. Jung H., Fisher M. B. ve Woo S. L.Y. (2009). Role of biomechanics in the understanding of normal, injured and healing ligaments and tendons. *BioMed Central Sports Medicine, Arthroscopy, Rehabilitation, Therapy and Technology*, 1, 1-17.
56. Kazennikov O. A. ve Wiesendanger M. (2005). Goal synchronization of bimanuel skills depends on proprioception. *Neuroscience Letters*, 388, 153-156.
57. Kilbreath S. L. ve Gandieva S. C. (1991). Independent digit control: failure to partition perceived heaviness of weights lifted by digits of the human hand. *Journal of Physiology*, 422, 585-599.

58. Kilbreath S. L. ve Gandieva S. C. (1993). Neural and biomechanical specialization of human thumb muscles revealed by matching weights and grasping objects. *Journal of Physiology*, 472, 537-556.
59. Kirsch W. ve Hennighausen E. ERP correlates of linear hand movements: Distance dependent changes. *Clinical Neurophysiology*, 121, 1285-1292.
60. Kito T., Hashimoto T., Yoneda T., Katamoto S. ve Naito E. (2006). Sensory processing during kinesthetic aftereffect following illusory hand movement elicited by tendon vibration. *Brain Research*, 1114, 75-84.
61. Kofotolis N. ve Kellis E. (2006). Effects of two 4-week proprioceptive neuromuscular facilitation programs on muscle endurance, flexibility, and functional performance in women with chronic low back pain. *Physical Therapy*, 86, 1001-1012.
62. Kumar S., Narayan Y. ve Chouinard K. (1997). Effort reproduction accuracy in pinching, gripping and lifting among industrial males. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 20, 109-119.
63. Lacquanti F. ve Soechting J. F. (2004). Coordination of arm and wrist motion during a reaching task. *The Journal of Neuroscience*, 2(4), 399-408.
64. Lateiner J. E. ve Sainburg R. L. (2003). Differential contributions of vision and proprioception to movement accuracy. *Experimental Brain Research*, 151, 446-454.
65. Lee W.L., Kwon O.Y., Yi C.H., Jeon H.S., Ha S.M. (2011). Effects of taping on wrist extensor force and joint position reproduction sense of subjects with and without lateral epicondylitis. *J. Phys. Ther. Sci.* 23: 629-634.
66. Lenzenweger M. F. (2000). Two-point discrimination of thresholds and schizotypy: illuminating a somatosensory dysfunction. *Schizophrenia Research*, 42, 111-124.
67. Li S. (2006). Perception of individual finger forces during multi-finger force production tasks. *Neuroscience Letters*, 409, 239-243.
68. Lin D., Lin Y., Chai H., Han Y. ve Jan M. (2007). Comparison of proprioceptive functions between computerized proprioception facilitation exercise and closed kinesthetic chain exercise in patients with knee osteoarthritis. *Clinical Rheumatology*, 26, 520-528.

69. Livanelioğlu A., Erden Z. (2005). Proprioseptif Nöromusküler Fasilitasyon Teknikleri. (s. 44-63). Ankara: Volkan Matbaacılık.
70. Lundborg G. ve Rosen B. (2004). The two-point discrimination test-time for a re-appraisal? *Journal of Hand Surgery*, 29B, 418-422.
71. Mackin E. J., Callahan A. D., Skirven T. M., Schneider L. H., Ostermann A. L. (2002). Rehabilitation of the Hand and Upper Extremity. (s. 77-87). USA: Mosby Inc.
72. Mandelbaum B. R., Silvers H. J., Watanabe D. S., Knarr J. F., Thomas S. D., Griffin L. Y. ve diğerleri. (2005). Effectiveness of a neuromuscular and proprioceptive training program in preventing anterior cruciate ligament injuries in female athletes. *The American Journal of Sports Medicine*, 33(7), 1003-1010.
73. Manivannan M., Periyasamy R. ve Narayanamurthy V. B. (2009). Vibration perception threshold and the law of mobility in diabetic mellitus patients. *Primary Care Diabetics*, 9, 17-21.
74. March C. D., Andersen O.K., Quevedo A. S., Nielsen L. A. ve Coghill R. C. (2010). Exteroceptive aspects of nociception: insights from graphesthesia and two-point discrimination. *Pain*, 151, 45-52.
75. Marek S. M., Cramer J. T., Fincher A. L., Massey L. L., Dangelmeier S. M., Purkayastha S. ve diğerleri.(2005). Acute effects of static and proprioceptive neuromuscular facilitation stretching on muscle strength and power output. *Journal of Athletic Training*, 40(2), 94-103.
76. Marino B. F., Stucchi N., Nava E., Haggard P. ve Maravita A. (2010). Distorting the visual size of hand affects hand pre-shaping during grasping. *Experimental Brain Research*, 202, 499-505.
77. Masia L., Casadio M., Sandini G. ve Morasso P. (2009). Eye-hand coordination during dynamic visuomotor rotations. *Plos One*, 4(9): e7004.
78. Meenhout A. G., Palmans T., De Muijnck A., De Wilde L. F. ve Cools A. M. (2012). The impact of rotator cuff tendinopathy on proprioception, measuring force sensation. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 21, 1080-1086.
79. Moritomo H., Apergis E. P., Herzberg G., Werner F. W., Wolfe S. W. ve Garcia-Ellis M. (2007). 2007 IFSSH Committee Report of Wrist Biomechanics Committee: Biomechanics of the so-called dart-throwing motion of the wrist. *Journal of Hand Surgery*, 32A, 1447-1453.

80. Nafati G., Rossi-Durand C. ve Schmied A. (2004). Proprioceptive control of human wrist extensor motor units during an attention-demanding task. *Brain Research*, 1018, 208-220.
81. Netter F.H., The Netter Collection of Medical Illustrations (M. Emer, Çev.). (s. 164-201). Ankara: Güneş Tıp Kitabevleri.
82. Neumann D.A., (2002). Kinesiology of the Musculoskeletal System. (s.148-192). USA: Mosby Inc.
83. Nolan M. F. (1982). Two-point discrimination assessment in the upper limb in young adult men and women. *Physical Therapy*, 62(7), 965-969.
84. Noronha M., Refshauge K. M. ve Kilbreath S. L. (2006). Do voluntary strength, proprioception, range of motion, or postural sway predict occurrence of lateral ankle sprain? *British Journal of Sports Medicine*, 40, 824-828.
85. Olson K. A. ve Goehring M. T. (2009). Intra and inter-rater reliability of a goniometric lower trunk rotation measurements. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*, 22, 157-164.
86. Osis S. T. ve Stefanyshn D. J. (2010). Vibration at the wrist and elbow joints during the golf swings reveals shaft-specific swing kinematics. *Procedia Engineering*, 2, 26-37-2642.
87. Otten E. (2005). Multi-joint dynamics and the development of movement control. *Neural Plasticity*, 12, 89-98.
88. Overvliet K. E., Anema H. A., Brenner E., Dijkerman H. C. ve Smeets J. B. J. (2011). Relative finger position influences whether you can localize tactile stimuli. *Experimental Brain Research*, 208, 245-255.
89. Patterson R. W., Van Niel M., Shimko P., Pace C. ve Seitz W. H. (2010). Proprioception of the wrist following posterior interosseous sensory neurectomy. *Journal of Hand Surgery*, 35A, 52-56.
90. Periyasamy R., Manivannan M., Balakrish V. ve Narayanamurthy R. (2008). Changes in two point discrimination and the law of mobility in diabetes mellitus patients. *BioMed Central Journal of Brachial Plexus and Peripheral Nerve Injury*, 3, 1-6.

91. Pleger B., Dinse H. R., Ragert P., Schwenkreis P., Malin J. P. ve Tegenthoff M. (2001). Shifts in cortical representations predict human discrimination improvement. *Neurobiology*, 98(21), 12255-12260.
92. Rabin E., Muratori L., Svokos K. ve Gordon A. (2010). Tactile/proprioceptive integration during arm localization is intact in individuals with Parkinson's Disease. *Neuroscience Letters*, 470, 38-42.
93. Ren L., Blohm G. ve Crawford J.D. (2007). Comparing limb proprioception and oculomotor signals during hand-guided saccades. *Experimental Brain Researches*, 182, 189–198.
94. Ren L., Khan A. Z., Blohm G., Henriques D. Y. P., Sergio L. E. ve Crawford J. D. (2006). Proprioceptive guidance of saccades in eye-hand coordination. *Journal of Neurophysiology*, 96, 1464–1477.
95. Ribeiro F. ve Oliveria J. (2007). Aging effects on joint proprioception: the role of physical activity in proprioception preservation. *European Review of Aging and Physical Activity*, 4, 71–76.
96. Ribot-Ciscar E., Bergenheim M., Albert F. ve Roll J. (2003). Proprioceptive population coding of limb position in humans. *Experimental Brain Researches*, 149, 512-519.
97. Ribot-Ciscar E., Roll J. ve Gilhodes J. (1996). Human motor unit activity during post-vibratory and voluntary muscle contractions. *Brain Research*, 716, 84-90.
98. Rickards C. ve Cody F. W. J. (1997). Proprioceptive control of wrist movements in Parkinson's Disease. *Brain*, 120, 977-990.
99. Romaguere P., Vedel J., Azulay J. ve Pagni S. (1991). Differential activation of motor units in the wrist extensor muscles during the tonic vibration reflex in man. *Journal of Physiology*, 444, 645-667.
100. Rosenkranz K., Altenmüller E., Siggelkow S. ve Dengler R. (2000). Alteration of sensorimotor integration in musician's cramp: impaired focusing of proprioception. *Clinical Neurophysiology*, 111, 2040-2045.
101. Rossi-Durand C. (2006). Proprioception and myoclonus. *Neurophysiologie Clinique*, 36, 299-308.
102. Sabes P. N. (2000). The planning and control of reaching movements. *Current Opinion in Neurobiology*, 10, 740-746.

103. Sahin N., Baskent A., Cakmak A., Salli A., Ugurlu H. ve Berker E. (2008). Evaluation of knee proprioception and effects of proprioception exercise in patients with benign joint hypermobility syndrome. *Rheumatology International*, 28(10), 995-1000.
104. Sainburg R. L., Ghilardi M. F., Poizner H. ve Ghez C. (1995). Control of limb dynamics in normal subjects and patients without proprioception. *Journal of Neurophysiology*, 73, 820-835.
105. Sekir U. ve Gür H. (2005). A multi-station proprioceptive exercise program in patients with bilateral knee osteoarthritis: functional capacity, pain and sensorimotor function. A randomized controlled trial. *Journal of Sports Science and Medicine*, 4, 590-603.
106. Shenton J. T., Schwoebel J. ve Coslett H. B. (2004). Mental motor imagery and the body schema: evidence for proprioceptive dominance. *Neuroscience Letters*, 370, 19-24.
107. Shimokata H. ve Kuzuya F. (1995), two-point discrimination tests of the skins as an index of sensory aging. *Gerontology*, 41, 267-272.
108. Simoneau M., Mercier P., Allard P. ve Teasdale N. (2006). Altered sensory-weighting mechanisms is observed in adolescents with idiopathic scoliosis. *BioMed Central Neuroscience*, 7, 68.
109. Sjölander P., Johansson K. ve Djupsjöbacka M. (2002). Spinal and supraspinal effects of activity in ligament afferents. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 12, 167-176.
110. Smith J. L., Crawford M., Proske U., Taylor J. L. ve Gandevia S. C. (2009). Signals of motor command bias joint position sense in the presence of feedback from proprioceptors. *Journal of Applied Physics*, 106, 950-958.
111. Strimpakos N. (2011). The assessment of the cervical spine. Part1: Range of motion and proprioception. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 15, 114-124.
112. Strutton P. H., Catley M. ve Davey N. J. (2003). Stability of corticospinal excitability and grip force in intrinsic hand muscles in man over a 24-h period. *Physiology and Behavior*, 79, 679-682.
113. Taimela S., Takela E., Asklöf T., Seppala K. ve Parviainen S. (1999). Active treatment of chronic neck pain. *Spine*, 25(8), 1021-1027.

114. Tamura Y., Hoshiyama M., Inui K. ve Kakigi R. (2003). Central mechanisms for two-point discrimination in humans. *Neuroscience Letters*, 342, 187-190.
115. Taner, D., Atasever, A. ve Durgun, B. (1999). *Fonksiyonel Nöroanatomi*. (s.98-117). Ankara: METU Press.
116. Taner, D., Sancak, B., Akşit, D., Cumhuri, M., İlgi, S., Kural, E.ve diğerleri. (1996). *Fonksiyonel Anatomi Ekstremiteler ve Sirt Bölgesi*. (s.101-116). Ankara: Hekimler Yayın Birliği.
117. Touch Test Sensory Evaluators, Semmes Weinstein von Frey Aesthesiometers, Operation Manual. Catalog Number 58011, Stoelting Co.
118. Van de Pol G. J., Koudstaal M. J., Schuurman A. H. ve Bleys R. L. A. W. (2006). Innervation of the wrist joint and surgical perspectives of denervation. *Journal of Hand Surgery*, 31A, 28-34.
119. Vaughan HG Jr, Gross EG, Bossom J. (1970). Cortical motor potential in monkeys before and after upper limb deafferentation. *Experimental Neurology*, 26(2), 253-262
120. Vekris M. D., Mataliotakis G. I. ve Beris A. E. (2011). The scapholunat interosseous ligament afferent proprioceptive pathway: a human in vivo experimental study. *Journal of Hand Surgery*, 36A, 37-46.
121. Verhagen E., van der Beek A., Twisk J., Bahr R. ve van Mechelen W. (2004). The effect of a proprioceptive balance board training program for the prevention of ankle sprains. *The American Journal of Sports Medicine*, 32, 1385-1393.
122. Verschueren S. M. P., Cordo P. J. ve Swinnwn S. P. (1998). Representantion of wrist joint kinematics by the esemble of muscle spindles from synergistic muscles. *Journal of Neurophysiology*, 79, 2265-2276.
123. Vidoni E. D., ve Boyd L. A. (2008). Motor sequence learning occurs despite disrupted visual and proprioceptive feedback. *BioMed Central Behavioral and Brain Functions*, 4, 32.
124. Vidoni E. D., ve Boyd L. A. (2009). Preserved motor learning after stroke is related to the degree of proprioceptive deficit. *BioMed Central Behavioral and Brain Functions*, 5, 36.
125. Windhorst U. (2007). Muscle proprioceptive feedback and spinal networks. *Brain Research Bulletin*, 73, 155-202.

126. Wright M. L., Adamo D. E. ve Brown S. H. (2011). Age-related declines in the detection of passive wrist movement. *Neuroscience Letters*, 500, 108-112.
127. Wurtz R.H. (2008). Neuronal mechanisms of visual stability. *Vision Research*, 48(20), 2070-2089.
128. Yılmaz B., Yaşar E., Taşkaynaktan M. A., Göktepe A. S., Tuğcu İ., Yazıcıoğlu K. ve diğerleri. (2010). Relationship between lumbar muscle strength and proprioception after fatigue in men with chronic low back pain. *Turkish Journal of Rheumatology*, 25, 68-71.

