



**TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
TIP FAKÜLTESİ**



İNME Lİ HASTALARDA BECURE™ SANAL GERÇEKLİK TABANLI 9 DELİKLİ ÇUBUK TESTİNİN GEÇERLİLİK VE GÜVENİRLİLİĞİ

Dr. Nur AKBAŞ

**FİZİKSEL TIP VE REHABİLİTASYON ANABİLİM DALI
TIPTA UZMANLIK TEZİ**

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Haydar GÖK**

ANKARA

2025



**TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
TIP FAKÜLTESİ**



İNME Lİ HASTALARDA BECURE™ SANAL GERÇEKLİK TABANLI 9 DELİKLİ ÇUBUK TESTİNİN GEÇERLİLİK VE GÜVENİRLİLİĞİ

Dr. Nur AKBAŞ

**FİZİKSEL TIP VE REHABİLİTASYON ANABİLİM DALI
TIPTA UZMANLIK TEZİ**

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Haydar GÖK**

ANKARA

2025

Ankara Üniversitesi
Tıp Fakóltesi Dekanlığı'na,

Tıpta Uzmanlık Tezi olarak hazırlayıp sunduğum “İnmeli Hastalarda BeCure™ Sanal Gerçeklik Tabanlı 9 Delikli Çubuk Testinin Geçerlilik ve Güvenirliliğı” başlıklı tez; bilimsel ahlak ve değere uygun olarak tarafımdan yazılmıştır. Tezimin fikir/hipotezi tümüyle tez danışmanım ve bana aittir. Tezde yer alan araştırma tarafımda yapılmış olup, tüm cümleler, yorumlar bana aittir.

Bu tez çalışmasıyla ilgili tüm süreçler Ankara Üniversitesi İnsan Araştırmaları Etik Kurulu tarafından, 09.02.2023 tarihinde, İ02-56-23 numaralı kararla onaylanmıştır.

Yukarıda belirtilen hususların doğruluğunu beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Nur AKBAŞ

Tarih:

İmza:

ÖZGÜNLÜK RAPORU

Gönderim Tarihi: 22-May-2025 03:52PM (UTC+0300)

Gönderim Numarası: 2682177325

Dosya adı: Nur_revizyon_22.05.25_final.docx (7.42M)

Kelime sayısı: 16890

Karakter sayısı: 113791

İNME Lİ HASTALARDA BECURETM SANAL GERÇEKLİK TABANLI 9 DELİKLİ ÇUBUK TESTİNİN GEÇERLİLİK VE GÜVENİLİRLİĞİ

ORJİNALLİK RAPORU

% **17**

BENZERLİK ENDEKSİ

% **14**

İNTERNET KAYNAKLARI

% **13**

YAYINLAR

% **9**

ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ



KABUL ONAY SAYFASI

ANKARA ÜNİVERSİTESİ TIP FAKÜLTESİ TEZ SINAVI TUTANAĞI

I. UZMANLIK ÖĞRENCİSİNİN	
Adı, Soyadı: Nur Akbaş	Sınav tarihi: 27 /05/ 2025
Anabilim/Bilim Dalı: Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon	
Tez Danışmanı: Prof. Dr. Haydar Gök	

II. TEZ İLE İLGİLİ BİLGİLER	
Tezin Başlığı: İnmeli Hastalarda BeCure™ Sanal Gerçeklik Tabanlı 9 Delikli Çubuk Testinin Geçerlilik ve Güvenirliliği	
Tezin Niteliği: ☒ Ana Dal Uzmanlık Tezi	☐ Yan Dal Uzmanlık Tezi
Kaçıncı tez sınavı olduğu: ☐ 1	☒ 2 ☐ 3

III. KARAR	
Yapılan tez sınavı sonucunda yukarıda belirtilen tezin “Tıpta Uzmanlık Tezi” olarak	
☒ Kabulüne	
☐ Reddine	
☐ Düzeltmeler yapıldıktan sonra tekrar değerlendirilmesine	
☒ Oy birliği	☐ Oy çokluğu ile karar verilmiştir.

IV. AÇIKLAMALAR
Lütfen, tezin reddi veya düzeltme istenmesi durumunda gerekçeli açıklamalarınızı buraya yazınız.

Jüri Başkanı
Prof.Dr.Ayşe Küçükdeveci
Anabilim/Bilim Dalı

Jüri Üyesi
Prof.Dr.Haydar Gök
Anabilim/Bilim Dalı

Jüri Üyesi
Prof.Dr.Şehim Kutlay
Anabilim/Bilim Dalı

ÖNSÖZ

Uzmanlık eğitimimde önemli katkıları olan, bilgi ve tecrübeleriyle daima destek olan değerli hocalarım Prof. Dr. Safiye Tuncer, Prof. Dr. Ayşe A. Küçükdeveci, Prof. Dr. Şehim Kutlay, Prof. Dr. Şebnem Ataman, Prof. Dr. Yeşim Kurtaiş Aytür, Prof. Dr. Haydar Gök, Prof. Dr. Birkan Sonel Tur, Doç. Dr. Ayşe Bölükbaşı, Doç. Dr. Aysun Genç, Doç. Dr. Seçilay Güneş ve Doç. Dr. İsmihan Sunar'a;

Asistanlığa başladığım ilk günden itibaren desteklerini esirgemeyen, tezimin konu seçiminden yazımına kadar tüm aşamalarında değerli bilgi ve tecrübeleriyle yol gösteren, birlikte çalışmaktan büyük mutluluk duyduğum, saygıdeğer hocam Prof. Dr. Haydar Gök'e;

Hem uzmanlık eğitimim hem de tezimin her aşamasında bilgi ve tecrübeleriyle yardımlarını esirgemeyen kıymetli hocam Prof. Dr. Şehim Kutlay' a;

Tezimin istatistiksel analiz kısmındaki emeği ve katkılarından dolayı sayın Prof. Dr. Atilla Elhan hocama;

Desteklerinden dolayı Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine;

Uzmanlık eğitimim boyunca huzurlu bir çalışma ortamıyla birlikte çalışmaktan mutluluk duyduğum sevgili asistan arkadaşlarıma,

Hayatımın tüm aşamalarında olduğu gibi özellikle tez yazım süresince desteğini, sabrını hiç esirgemeyen, yeri geldiğinde benden daha çok çabalayan, doktorluk mesleğini seçmeme vesile olan canım annem Ayşe Akbaş'a, kahramanım canım babam Hüseyin Akbaş'a ve kişisel bilgisayar üstadım canım ağabeyim Ahmet Akbaş'a; son olarak da tüm sevincimi, üzüntümü, stresimi kocaman kalbiyle göğüsleyen Emin Paçacı'ya

Teşekkürlerimi sunarım...

Dr. Nur AKBAŞ
ANKARA, 2025

İÇİNDEKİLER

Etik Beyan	i
Özgünlük Raporu.....	ii
Kabul Onay Sayfası	iii
Önsöz	iv
İçindekiler	v
Simgeler ve Kısaltmalar	viii
Şekiller Dizini.....	ix
Tablolar Dizini.....	x
1. ÖZET	1
2. ABSTRACT	3
3. GİRİŞ VE AMAÇ	5
4. GENEL BİLGİLER	7
4.1. İnme Tanımı	7
4.2. İnme Epidemiyolojisi	7
4.3. İnmede Risk Faktörleri	7
4.4. İnmede Klinik Görünümler	8
4.4.1. Geçici İskemik Atak	8
4.4.2. İskemik İnme	9
4.4.2.1. Serebral Tromboz	9
4.4.2.2. Serebral Emboli	9
4.4.2.3. Laküner İnme	10
4.4.3. Hemorajik İnme	10
4.4.3.1. İntraserebral Kanama	10
4.4.3.2. Subaraknoid Kanama	10
4.5. İnme Sonrası Nörolojik Bozukluklar.....	11
4.5.1. Bilişsel Bozukluklar.....	11

4.5.2. İletişim Bozuklukları	11
4.5.3. Motor Bozukluklar.....	12
4.5.4. Duyusal Bozukluklar	12
4.5.5. Denge ve Postür	12
4.5.6. İnmede Sekonder Komplikasyonlar	13
4.6. İnme Rehabilitasyonu	13
4.6.1. İnmede Robotik Rehabilitasyon	14
4.6.1.1. Üst Ekstremitte Robotları	15
4.6.1.2. Alt ekstremitte Robotları.....	15
4.7. Sanal Gerçeklik	16
4.7.1. Sanal Gerçeklik ve Nöroplastisite	18
4.8. Nörorehabilitasyonda Sanal Gerçeklik.....	19
4.9. İnme Rehabilitasyonunda Sanal Gerçeklik Kullanımı	21
4.9.1. Sanal Gerçeklik Tabanlı İnme Rehabilitasyonunda Klinik ve Teknik Parametreler.....	24
4.10. İnmede Üst Ekstremitte Motor Fonksiyon Değerlendirme	25
4.10.1. Fugl Meyer Testi.....	26
4.10.2. Motor Aktivite Günlüğü	26
4.10.3. Wolf Motor Fonksiyon Testi	26
4.10.4. Eylem Araştırması Kol Testi	27
4.10.5. Motor Değerlendirme Ölçeği.....	27
4. 10. 6. Kutu ve Blok Testi.....	27
4. 10. 7. Chedoke Kol ve El Aktivite Envanteri	27
4.10. 8. ABILHAND	28
4. 10. 9. Dokuz Delikli Çubuk Testi.....	28
5. GEREÇ ve YÖNTEM	31
5.1. Araştırmanın Tasarımı	31
5.2. Gönüllü Niteliği.....	31

5.2.1. Araştırmaya dahil olma kriterleri.....	31
5.2.2. Araştırmaya dahil olmama kriterleri.....	31
5.3. Gönüllülerin Değerlendirilmesi.....	32
5.3.1. İnmeli Hastaların Değerlendirme Yöntemleri	32
5.3.2. Sağlıklı Gönüllülerin Değerlendirilme Yöntemleri	32
5.4. İstatiksel Analiz	38
6. BULGULAR	40
7. TARTIŞMA.....	50
8. SONUÇ ve ÖNERİLER	54
9. KAYNAKLAR.....	55
10. EKLER	67
EK-1: Gönüllü Takip Formu	67
EK-2 Mini Mental Test Değerlendirme Formu.....	71
EK-3. Brunnstrom Motor Evrelemesi	72

SİMGELER VE KISALTMALAR

AE	: Alt ekstremit
AFAS	: Antifosfolipit Antikor Sendromu
AHA	: American Heart Association
CADASIL	: Cerebral Autosomal Dominant Arteriopathy with Subcortical infarcts and Leukoencephalopathy.
CARASIL	: Cerebral autosomal recessive arteriopathy with subcortical infarcts and leukoencephalopathy
FBÖ	: Fonksiyonel Bağımsızlık Ölçeği
GİA	: Geçici İskemik Atak
GYA	: Günlük Yaşam Aktiviteleri
ICC	: Intraclass Correlation Coefficient
MAS	: Modifiye Ashworth Skalası
MELAS	: Mitochondrial encephalomyopathy, lactic acidosis, and stroke-like episodes
MMSE	: Mini Mental State Examination
MS	: Multiple Skleroz
ρ	: Spearman Rho Korelasyon Katsayısı
RVCL	: Retinal vasculopathy with cerebral leukoencephalopathy
S-9DÇT	: Sanal Gerçeklik Tabanlı 9 Delikli Çubuk Testi
SG	: Sanal Gerçeklik
SP	: Serebral Palsi
SSS	: Santral Sinir Sistemi
ÜE	: Üst Ekstremit
VPIT	: Virtual Peg Insertion Test
9-DÇT	: 9 delikli çubuk testi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 4.1.	VPIT Cihazı	29
Şekil 4.2.	Phantom Premium 1.5 Yüksek Kuvvet Dokunsal Arayüz ile kullanılan eXtreme Virtual Reality (XVR) yazılımı	29
Şekil 4.3.	Meta Quest 2 Başlığı (101).....	30
Şekil 4.4.	Unity 3D motoru ve Meta Quest 2 Başlığının Kullanıldığı 9-DÇT(102).....	30
Şekil 5.1.	Fiziksel 9-DÇT Materyalleri	34
Şekil 5.2.	Gönüllü Tarafından 9-DÇT Uygulanışı.....	34
Şekil 5.3.	Leap Motion Controller Cihazı (Hareket Sensörü)	35
Şekil 5.4.	S-9DÇT'nin Uygulanma Basamakları.....	38
Şekil 6.1.	İnmeli Grup Akış Şeması	40
Şekil 6.2.	İnmeli Grupta S-9DÇT ile Brunnstrom Evresi Arasındaki İlişki	47
Şekil 6.3.	İnmeli Grupta S-9DÇT ile Spastisite Arasındaki İlişki	48
Şekil 6.4.	İnmeli Grupta MMSE ile 9-DÇT Skorlarının İlişkisi.....	49

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 6.1.	İnmeli Grubun Sosyodemografik Özellikleri	41
Tablo 6.2.	Sağlıklı Grubun Sosyodemografik Özellikleri	41
Tablo 6.3.	İnmeli Grubun Klinik Özellikleri-1.....	42
Tablo 6.4.	İnmeli Grubun Klinik Özellikleri-2.....	43
Tablo 6.5.	İnmeli Grupta 9DÇT ve S-9DÇT Sürelerinin Karşılaştırılması.....	44
Tablo 6.6.	Sağlıklı Grupta 9-DÇT ve S-9DÇT Sürelerinin Karşılaştırılması	44
Tablo 6.7.	İnmeli Grupta S-9DÇT'nin Test-Tekrar Test Güvenirliliği.....	44
Tablo 6.8.	Sağlıklı Grupta S-9DÇT'nin Test-tekrar Test Güvenirliliği	45
Tablo 6.9.	İnmeli ve Sağlıklı Grupta S-9DÇT'nin Geçerliliği	45
Tablo 6.10.	Eğitim Düzeyi ile Testler Arasındaki İlişki.....	46
Tablo 6.11.	İnmeli Grupta Dominansın Test Sonuçlarına Etkisi	47
Tablo 6.12.	Sağlıklı Grupta Dominansın Test Sonuçlarına Etkisi	47

1. ÖZET

İnmeli Hastalarda BeCure™ Sanal Gerçeklik Tabanlı 9 Delikli Çubuk Testinin Geçerlilik ve Güvenirliliği

Amaç: Sanal gerçeklik (SG) tabanlı BeCure™ 9 Delikli Çubuk Testi'nin (9-DÇT) inme sonrası el becerilerinin değerlendirilmesinde geçerlilik ve güvenilirliğini incelemek ve bu testin sağlıklı gönüllülerde dominant ve non-dominant el performansı arasındaki farkı ortaya koymak

Gereç ve Yöntem: Bu kesitsel çalışmaya 2023-2025 yılları arasında Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon Kliniği'nde inme rehabilitasyonu amacıyla takipli 18 yaşın üzerinde, Brunnstrom üst ekstremité evresi 3 ve üzerinde olan, sözlü komut alıp uygulayabilecek 46 inmeli hasta ve sağlıklı 47 gönüllü dahil edildi. Katılımcılara araştırmacı tarafından bilişsel düzeylerini tespit etmek amacıyla yapılan MMSE (Mini Mental State Examination) yapıldı. İnmeli grupta Brunnstorm ve Modifiye Ashworth Skalası (MAS) kullanılarak üst ekstremité ve elde motor aktivite, spastisite değerlendirildi. İki gruba fiziksel 9-DÇT (9-DÇT) ve SG tabanlı 9-DÇT (S-9DÇT) uygulandı. S-9DÇT sistemi Becure™ tarafından geliştirilen PinchPeg oyunu ve hareket sensöründen (Leap Motion Controller) oluşmaktaydı. Bir hafta içinde S-9DÇT tekrar edildi. Verilerin analizi SPSS program ile yapıldı. S-9DÇT'nin geçerliliği (içsel tutarlılığı) Spearman korelasyon katsayısı ile test-tekrar test güvenirliliği sınıf içi korelasyon katsayısı (ICC) ile raporlandı. İstatistiksel anlamlılık düzeyi $p<0.05$ olarak kabul edildi.

Bulgular: Çalışmayı 46 inmeli, 47 sağlıklı gönüllü tamamladı. Her iki grupta S-9DÇT'nin tamamlanma süresi 9-DÇT'ye kıyasla anlamlı derecede daha uzun bulundu ($p<0.001$). İnmeli grupta (sırasıyla hemiplejik ve sağlam tarafta ρ 0,242 ve 0,086) ve sağlıklı grupta (sırasıyla dominant ve non-dominant tarafta ρ -0,053 ve 0,015) S-9DÇT, 9-DÇT ile kıyaslandığında geçerli bulunmadı. İnmeli (sırasıyla hemiplejik ve sağlam tarafta ICC: 0,487 ve 0,454) ve sağlıklı grupta (sırasıyla dominant ve non-dominant tarafta sırasıyla ICC 0,484 ve 0,583) test-tekrar test güvenirliliği düşük düzeyde bulundu. İnmeli grupta eğitim düzeyi ile 9-DÇT veya S-9DÇT arasında anlamlı ilişki saptanmadı. Sağlıklı grupta 9-DÇT eğitim düzeyi yüksek olanlar tarafından daha kısa sürede tamamlanırken ($p<0.001$), S-9DÇT'de fark saptanmadı. Sağlıklı grupta 9-DÇT dominant elde non-dominant ele göre anlamlı derecede daha kısa sürede tamamlandı ($p<0.001$). S-9DÇT tamamlanma süresi açısından iki el arasında

anlamalı bir fark bulunmadı ($p>0,05$). İnme grubunda S-9DÇT ile MMSE skoru, Brunnstrom üst ekstremité/el evreleri ve üst ekstremité kasları spastisite derecesi arasında anlamalı ilişki tespit edilmedi.

Sonuç: İnmeli hastaların el becerilerinin değérlendirilmesinde fiziksel 9-DÇT ile kıyaslandığında BeCure™ SG tabanlı 9-DÇT geçerli değildir ve güvenirliliğı düşüktür. Bu sistemin klinik pratikte kullanılabilmesi için öncelikle uygulanabilirlik ve tolerabilitesinin değérlendirileceğı ileri araştırmalara ihtiyaç vardır. Ayrıca fiziksel testte olduğı gibi farklı yaş grupları için normatif değérlerinin belirlenmesinin uygun olacağı düşüncesindeyiz.

Anahtar Sözcükler: İnme, Sanal Gerçeklik, 9 Delikli Çubuk Testi, Geçerlilik, Güvenirlilik

2. ABSTRACT

Validity and Reliability of the BeCure™ Virtual Reality Based Nine Hole Peg Test in Stroke Patients

Aim: To examine the validity and reliability of the virtual reality-based BeCure™ Nine-Hole Peg Test (9-HPT) in the assessment of hand dexterity after stroke, and to identify the differences in performance between the dominant and non-dominant hand in healthy volunteers.

Materials and Methods: This cross-sectional study included 46 stroke patients over the age of 18 who were being followed for stroke rehabilitation at Ankara University Faculty of Medicine, Department of Physical Medicine and Rehabilitation between 2023 and 2025, and 47 healthy volunteers. The stroke patients had a Brunnstrom upper extremity stage of 3 or above and were able to understand and follow verbal commands. The Mini Mental State Examination (MMSE) was administered by the researcher to assess the cognitive levels of the participants. In the stroke group, upper extremity and hand motor activity and spasticity were evaluated using the Brunnstrom stages and the Modified Ashworth Scale (MAS). Both groups were administered the physical 9-Hole Peg Test (NHPT) and the virtual reality-based 9-Hole Peg Test (VR-NHPT). The VR-NHPT system consisted of the PinchPeg game developed by Becure™ and a motion sensor (Leap Motion Controller). The VR-9HPT was repeated within one week. Data were analyzed using the SPSS software. The validity (internal consistency) of the VR-NHPT was assessed using the Spearman rho correlation coefficient, and its test-retest reliability was reported with the intraclass correlation coefficient (ICC). A p-value of <0.05 was considered statistically significant.

Results: The study was completed by 46 stroke patients and 47 healthy volunteers. In both groups, the completion time of the VR-NHPT was found to be significantly longer compared to the NHPT ($p < 0.001$). In the stroke group ($\rho = 0.242$ and 0.086 for the hemiplegic and unaffected sides, respectively) and in the healthy group ($\rho = -0.053$ and 0.015 for the dominant and non-dominant sides, respectively), the VR-NHPT was not found to be valid compared to the NHPT. Test-retest reliability was found to be low in both the stroke group (ICC: 0.487 and 0.454 for the hemiplegic and unaffected sides, respectively) and the healthy group (ICC: 0.484 and 0.583 for the dominant and non-dominant sides, respectively). In the

stroke group, no significant relationship was found between educational level and either the NHPT or VR-NHPT. In the healthy group, the NHPT was completed in a significantly shorter time by individuals with higher educational levels ($p < 0.001$), whereas no difference was found in the VR-NHPT. In the healthy group, the NHPT was completed in a significantly shorter time with the dominant hand compared to the non-dominant hand ($p < 0.001$), whereas there was no significant difference in the completion time of the VR-NHPT between the two hands ($p > 0.05$). In the stroke group, no significant relationship was found between the VR-NHPT and MMSE score, Brunnstrom upper extremity/hand stages, or the degree of spasticity in the upper extremity muscles.

Conclusions: When compared to the physical NHPT, the BeCure™ VR-NHPT is not a valid test and its reliability is low in the assessment of hand dexterity in stroke patients. Further research is needed to evaluate the feasibility and tolerability of this system before it can be implemented in clinical practice. Additionally, as with the NHPT, we believe that establishing normative values for different age groups would be appropriate.

Key Words: Stroke, Virtual Reality, Nine Hole Peg Test, Validity, Reliability

3. GİRİŞ VE AMAÇ

İnme, Dünya Sağlık Örgütü tarafından ani başlangıçlı, 24 saatten uzun süren veya ölüme yol açan, fokal bazen de yaygın vasküler kökenli nörolojik bir bozulma olarak tanımlanır (1). İnme sonrası kas güçsüzlüğü, tonus değişiklikleri, denge bozukluğu, koordinasyonda azalma gibi çeşitli motor bozukluklar ortaya çıkmaktadır. Üst ekstremité disfonksiyonları, inme sonrası en yaygın karşılaşılan sekeller arasında yer almakta olup; motor kontrol, koordinasyon, duyu algısı ve el becerilerinde kayıplara neden olarak bireyin günlük yaşam aktivitelerini bağımsız bir şekilde sürdürmesini önemli ölçüde kısıtlamaktadır (2). Üst ekstremité fonksiyonunun ölçülmesi, klinik uygulamayı iyileştirmek ve rehabilitasyon müdahalelerinin etkinliğini değerlendirmek için merkezi bir öneme sahiptir (3). Fugl-Meyer Testi, Kutu ve Blok Testi, 9 Delikli Çubuk Testi (9-DÇT), Eylem Araştırması Kol Testi, Chedoke Kol ve El Aktivite Envanteri, Wolf Motor Fonksiyon Testi ve ABILHAND bu amaçla kullanılan testlerdendir (4).

Dokuz delikli çubuk testi, inme, serebral palsy, multipl skleroz gibi nörolojik hastalıklarda üst ekstremité işlevlerinin değerlendirilmesinde sıklıkla kullanılan standardize bir fiziksel test yöntemidir. Bu test ile hastaların güç, görsel dikkat, derinlik algısı, duyu algısı ve motor koordinasyonu değerlendirilmektedir. Testin uygulanması basit olmasına karşın, bazı dezavantajları bulunmaktadır. Hasta test araçlarını devirebilmekte, tek seferde birden fazla çubuk alabilmekte, iki elini birden kullanabilmekte, tüm delikleri doldurmadan çubukları geri almaya başlayabilmekte veya çubukları yere düşürebilmektedir. Ayrıca süre ölçümünde testi yapan kişiye bağlı hatalar olabilmektedir (5).

İleri teknolojilerin rehabilitasyon alanına girmesi ile son yıllarda robotik rehabilitasyon ve sanal gerçeklik (SG) uygulamaları tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de yaygınlaşmaya başlamıştır. Sanal gerçeklik, kullanıcının konumunu ve motor eylemlerini algılayabilen; bir ya da birden fazla duyuya yönelik geri bildirimleri değiştirebilen veya zenginleştirebilen; böylece bireyde simüle edilen ortama zihinsel olarak dâhil olma ya da o ortamda fiziksel olarak bulunuyormuş hissi oluşturabilen etkileşimli bilgisayar tabanlı sistemler bütünüdür (6, 7). Sanal gerçeklik bir yandan objektif ve sayısal değerlendirmeye olanak verirken diğer yandan da ciddi oyunlar aracılığı ile rehabilitasyon sürecine katkıda bulunmaktadır. Fiziksel testin dezavantajlarını ortadan kaldırmak, ölçüm sonuçlarını saklayabilmek, tedavi sürecini hem hastanede hem de uzaktan takip etmek amacıyla yurtdışında ve ülkemizde farklı araştırmacılar tarafından 9-DÇT'nin elektronik ve SG tabanlı versiyonları geliştirilmiştir. Bu testlerin

nörolojik hastalığı olan bireylerde geçerlilik ve güvenilirliği konusundaki araştırmalar sınırlı sayıdadır. Kronik inmeli hastalarda fiziksel 9-DÇT ile SG tabanlı 9-DÇT'nin karşılaştırıldığı, geçerlilik ve güvenilirliğin araştırıldığı bir çalışmada SG tabanlı testin birçok bileşeni nicel olarak ayırt edebildiği, ancak hasta içi yüksek varyasyon gösterdiği belirtilmiştir (8). Bu çalışma hastaya dokunsal geribildirim sağlayan bir cihazla yapılmış ve sağlıklı kontrol grubu değerlendirilmemiştir.

Çalışmamızda birincil amaç, inme geçiren hastalarda el becerilerinin değerlendirilmesinde, SG tabanlı 9-DÇT'nin geçerlilik ve güvenilirliğini araştırmak, ikincil amaç sağlıklı gönüllülerde dominant ve nondominant el arasındaki farklılığı ortaya koymaktır.

Hipotezlerimiz: hem inmeli hem de sağlıklı gruptaki gönüllülerde SG tabanlı ve fiziksel 9-DÇT'nin sonuçları benzerdir (geçerlilik); SG tabanlı 9-DÇT tekrarlandığında aynı sonuçları verecektir (güvenilirlik); sağlıklı gönüllülerde dominant elin skorları dominant olmayan ele göre daha iyi olacaktır.

4. GENEL BİLGİLER

4.1. İnme Tanımı

İnme, klasik olarak santral sinir sisteminin (SSS) akut fokal bir vasküler hasarına bağlı gelişen nörolojik defisit ile karakterizedir ve dünya çapında önemli bir sakatlık ve ölüm nedenidir (9).

4.2. İnme Epidemiyolojisi

İnme, dünya genelinde önemli bir sağlık sorunu olup, 2019 yılında ikinci en yaygın ölüm nedeni ve üçüncü en büyük ölüm ve sakatlık sebebi olarak raporlanmıştır. Aynı yıl gerçekleşen inme vakalarının %62,4'ü iskemik inme, %27,9'u intraserebral hemoraji ve %9,7'si subaraknoid hemoraji olarak sınıflandırılmıştır. Türkiye'de yaşam süresinin uzaması ve refah seviyesindeki artış, inme sıklığında belirgin bir yükselişe neden olmaktadır. Ülkemizde iskemik inme insidansı yüz binde 93,2-108,6, intraserebral kanama 31,5-39,7 ve toplam inme insidansı ise yüz binde 141,7-158 arasında değişmektedir (10).

4.3. İnmede Risk Faktörleri

Değiştirilebilir ve değiştirilemeyen risk faktörleri olarak sınıflandırılır.

Değiştirilemez risk faktörleri; yaş, cinsiyet, aile öyküsü ve genetik faktörlerdir. İnme görülme sıklığı yaşla birlikte artar. Yaşla birlikte hem vasküler yapılardaki dejenerasyon artmakta ve damarlarda tıkanmaya yatkınlık oluşmakta hem de komorbid hastalıklar ve diğer risk faktörleri artmaktadır (11). Yaşa özgü inme insidansı ve mortalite oranları erkeklerde daha yüksek olmakla birlikte, kadınların daha uzun yaşam süresi ve ileri yaş gruplarında inme insidansının belirgin şekilde artması nedeniyle, toplam inme yükü kadınlarda daha fazladır (12). Kardeş, anne veya babada inme hikayesi olması inme için bağımsız bir risk faktörüdür. Ortak genetik ve çevresel faktörlerin paylaşımı bu ilişkinin nedenidir (13). Genetik geçişli inme riskini arttıran çok sayıda genetik hastalık vardır, bunlar arasında CADASIL (Cerebral Autosomal Dominant Arteriopathy with Subcortical infarcts and Leukoencephalopathy) , RVCL(Retinal vasculopathy with cerebral leukoencephalopathy), CARASIL (Cerebral autosomal recessive arteriopathy with subcortical infarcts and leukoencephalopathy), Fabry hastalığı, MELAS (Mitochondrial encephalomyopathy, lactic acidosis, and stroke-like

episodes), Antitrombin 3 eksikliği, protein C ve S eksikliği, AFAS, faktör 5 Leiden mutasyonu örnek gösterilebilir (11).

Değiştirilebilir risk faktörleri; hipertansiyon, hiperlipidemi, diyabet, metabolik sendrom, sigara ve alkol kullanımı, obezite, fazla tuz tüketimi, fiziksel inaktivite, uyku apnesi, lipoprotein A yüksekliği, kardiyovasküler hastalıklar, atrial fibrilasyon, asemptomatik karotis stenozu, intrakraniyal damar stenozları, eroin, kokain, amfetamin gibi ilaç bağımlılığı, orak hücreli anemi, hiperhomosisteinemi. Hipertansiyon, inmeye yol açan en yaygın değiştirilebilir risk faktörüdür ve tedavisi inme riskini azaltmada en etkili stratejilerden biridir (14). Beslenmede doymuş yağ asitlerinden fakir Akdeniz tipi diyet uygulamaları önerilir (11, 15).

4.4. İnmede Klinik Görünümler

4.4.1. Geçici İskemik Atak

Geçici iskemik atak (GİA), akut infarkt veya doku hasarı gelişmeksizin, fokal beyin, omurilik veya retinal iskemiye bağlı olarak ortaya çıkan geçici nörolojik disfonksiyon epizodu olarak tanımlanmaktadır. Klinik olarak, çoğunlukla birkaç dakika süren ve nadiren bir saati aşan kısa süreli semptomlarla karakterizedir. Geçici iskemik atak, yaklaşan iskemik inme açısından önemli bir prediktör olup, en yüksek inme riski ilk 48 saat içinde gözlenmektedir. Patofizyolojik olarak, altta yatan serebrovasküler hastalık varlığında, belirli bir vasküler bölgeyle sınırlı fokal nörolojik defisit ve/veya konuşma bozukluğu ile seyretmektedir. Klinik prezentasyonu ani başlangıçlı olup, acil tanı ve tedavi gerektirmektedir. 2009 yılında AHA (American Heart Association), GİA'nın tanımını zaman temelli yaklaşımdan uzaklaştırarak doku temelli bir modele göre güncellemiştir. Buna göre, GİA tanısı koyulabilmesi için semptomların tamamen gerilemesi ve beyin görüntülemesinde infarktın bulunmaması gerekmektedir. Önceki tanımda ise semptomların 24 saat içinde kaybolması yeterli kabul edilmekteydi (16). Anamnezde geçirilmiş inme veya GİA öyküsünün olması, tekrarlayan inme veya GİA gelişme riskini önemli ölçüde artırmaktadır. Tüm risk faktörleri arasında, hem bireysel düzeyde hem de toplum genelinde en önemli belirleyici hipertansiyondur (14).

4.4.2. İskemik İnme

Serebral vasküler sistemdeki tıkanıklık mekanizmalarına bağılı olarak gelişen heterojen bir klinik sendromdur. Bu tıkanıklıklar, embolik, trombotik veya hemodinamik nedenlere bağılı olabilir ve altta yatan etiyolojik faktörler arasında kardiyembolizm, büyük arter ateroskleroza, küçük damar hastalığı ve daha nadir görülen vaskülopati veya hiperkoagülabilitate durumları yer almaktadır (17).

4.4.2.1. Serebral Tromboz

Ateroskleroz, iskemik inmenin başlıca mekanizmalarından biridir (18). Aterosklerotik süreçlere bağılı ekstrakranial veya intrakranial büyük damar hastalıkları, tüm inme vakalarının yaklaşık %30'unu oluşturmaktadır. Trombotik oklüzyonlar sıklıkla gece uykusu esnasında ya da fiziksel inaktivite dönemlerinde gelişmektedir. Kollateral dolaşımın yetersiz olduğu olgularda, büyük bir serebral arterin tıkanması sonucu geniş iskemik infarkt alanları ortaya çıkabilir. Bu durum, ciddi nörolojik defisitlere, yaygın serebral ödem gelişimine, orta hat yapılarında şift ve beyin herniasyonuna kadar ilerleyerek mortaliteye neden olabilir (19).

4.4.2.2. Serebral Emboli

Tüm inmelerin yaklaşık %30'undan sorumludur. Emboli, kalp, kapakçıklar veya büyük ekstrakranial arterlerdeki trombüsten kaynaklanabilir (19). Olası etiyolojik faktörler arasında henüz tanı konulmamış paroksizmal atriyal fibrilasyon, persistan foramen ovale aracılığıyla gelişen paradoksal venöz tromboembolizm, beyin dolaşımını sağlayan büyük arterlerde ya da aort arkusundaki plakların rüptürünü takiben oluşan arterio-arteriyel embolizasyon, substenotik aterosklerotik lezyonlar ve bunlara bağılı distal embolik olaylar yer almaktadır. Ayrıca, kalıtsal ya da sonradan edinilmiş koagülopati tabloları, özellikle eşlik eden malignite varlığında gözlenen hiperkoagülabilitate durumları iskemik inme riskini artırabilmektedir. Bunun yanı sıra, migrenle ilişkili mekanizmalar, bakteriyel olmayan trombotik endokardit ve genetik, otoimmün ya da romatolojik hastalıklar gibi daha nadir görülen durumlar da potansiyel inme nedenleri arasında değerlendirilmektedir (20). Kardiyembolizm kaynaklı inmeler genellikle şiddetlidir ve erken, uzun vadede tekrarlamaya eğilimlidir (21).

4.4.2.3. Laküner İnme

Laküner iskemik inme, genellikle beyin görüntülemesinde tespit edilebilen ya da bazı durumlarda görüntüleme ile saptanamayan küçük subkortikal iskemik lezyonlarla uyumlu, akut inme semptomlarının klinik bir bileşimi olarak tanımlanır. Bu terim, anatomik olarak derin beyinde lokalize, küçük çaplı enfarktlarla zamansal ve mekânsal olarak örtüşen nörolojik bulgular sergileyen hastaları ifade eder. Laküner inme, ileri yaş grubundaki bireylerde iskemik inmelerin yaklaşık %25'inden sorumlu tutulmakta olup, aynı zamanda birçok hemorajik inme vakasının da altında yatan mekanizma olarak değerlendirilmektedir (22). Bu inme alt tipi, esas olarak derin perforan arterleri etkileyen ve en azından kısmen endotel disfonksiyonu veya vasküler duvar yapısında bozulma ile ilişkili olan intrinsik küçük damar hastalığına bağlı olarak gelişmektedir (23).

4.4.3. Hemorajik İnme

Hemorajik inme, tüm inmelerin yaklaşık %20'sini oluşturur. İskemik inmeye göre daha kötü prognozludur (24). İki alt tipi mevcuttur: İntraserebral kanama ve subaraknoid kanama.

4.4.3.1. İntraserebral Kanama

Hemorajik inmenin en yaygın formu olup, akut inmenin potansiyel olarak yıkıcı bir alt grubunu oluşturmaktadır. Etiyolojik faktörler arasında hipertansiyon, travmatik beyin hasarı, koagülopati, madde bağımlılığı, serebral amiloid anjiyopati, serebral venöz tromboz, konjenital vasküler malformasyonların rüptürü, anevrizma rüptürü, intrakranial tümör içi kanamalar, santral sinir sistemi vaskülitleri ve iskemik inmenin hemorajik transformasyonu yer almaktadır (2)(24).

4.4.3.2. Subaraknoid Kanama

Subaraknoid kanama (SAK), inme alt tipleri arasında üçüncü en sık görülen formdur (25). Subaraknoid kanama vakalarının yaklaşık %85'inde temel neden, rüptüre anevrizmalardır. Vakaların %10'u, genellikle daha iyi seyirli olan anevrizmal olmayan perimezenşefalik kanama paternine uygundur. Kalan %5'lik kısım ise farklı ve nadir görülen etiyolojilere bağlı olarak gelişmektedir (26).

4.5. İnme Sonrası Nörolojik Bozukluklar

4.5.1. Bilişsel Bozukluklar

İnme geçiren bireylerde bilişsel bozulma, fonksiyonel yeti kaybı ve bağımlılığın başlıca belirleyicilerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Bu durum, yalnızca vasküler kökenli patolojileri değil, aynı zamanda vasküler lezyonlarla birlikte diğer nörodejeneratif süreçlerin eşlik ettiği karma patolojileri de içeren geniş bir yelpazeyi kapsamaktadır. Klinik yansıması ise hafif bilişsel yetersizlikten demansa kadar uzanan heterojen bir spektrum şeklinde ortaya çıkmaktadır (27). Yapılan bir metaanalizde inmeden sonraki ilk yılda demans olmayan bilişsel bozukluk sıklığı %38 olarak bulunmuştur (28). İnme sonrası görülen bilişsel bozulmalar; dikkat eksikliği, ihmal sendromu, apraksi, bellek işlevlerinde yetersizlik, yürütücü işlevlerde bozulma ve problem çözme becerilerinde güçlük gibi çeşitli alanlarda kendini gösterebilir. Bu tür bilişsel etkilenimlerin taranmasında yaygın olarak kullanılan Mini Mental Durum Değerlendirme Testi, kısa sürede uygulanabilen, pratik ve standardize edilmiş bir araç olup, genel bilişsel işlev düzeyinin belirlenmesine yönelik değerli bilgiler sunar (19).

4.5.2. İletişim Bozuklukları

En sık görülen iletişim bozuklukları afazi ve dizartri'dir (19). Afazi, genellikle sol hemisferde yer alan baskın serebral hemisferin dil işlevlerinden sorumlu bölgelerinde meydana gelen hasara bağlı olarak gelişen, edinilmiş bir dil bozukluğudur. Bu durum, bireyin dil üretme, anlama, okuma ve yazma becerilerinde farklı derecelerde bozulmalara yol açar (29). Afazi, akut inme geçiren hastaların yaklaşık %21 ila %38'inde görülmektedir ve bu durum, önemli bir nörolojik morbidite kaynağıdır. İskemik inme olguları, tüm serebrovasküler olayların yaklaşık %80'ini oluştururken, hemorajik inmeler daha düşük bir insidansa sahiptir. Bu nedenle, afazi olgularının büyük çoğunluğu iskemik etiyolojiye bağlı olarak gelişmektedir (30). Broca, Wernicke, iletim, transkortikal duyusal, transkortikal motor, global, anomik, subkortikal alt tipleri mevcuttur. Afazinin primer tedavi yaklaşımı konuşma ve dil terapisi'dir (30). Afazinin iyileşme süreci çoğunlukla inme sonrası 2-3 ay içerisinde hızlı olur ve genellikle 6. ay civarında en üst düzeye ulaşır. Bu dönemden sonra iyileşme hızı belirgin şekilde yavaşlar ve ilerlemeler daha sınırlı hale gelir (29). Broca afazisi, genellikle global afaziye kıyasla daha iyi iyileşme sonuçları sergilemektedir. Öte yandan, global afazi olguları, Wernicke afazisine göre daha olumlu bir iyileşme prognozuna sahip olabilir (31).

4.5.3. Motor Bozukluklar

İnme sonrası en sık gözlenen nörolojik bozukluk hemipleji şeklinde motor paralizidir. Hastalarda motor fonksiyonların kapsamlı biçimde değerlendirilmesi, yalnızca kas gücünün ölçülmesiyle sınırlı kalmamalı; bununla birlikte tonus, koordinasyon ve denge gibi motor performansın diğer bileşenleri de bütüncül şekilde incelenmelidir. Motor iyileşmenin fleksör ve ekstansör sinerji paternleri çerçevesinde izlenebilmesi açısından Brunnstrom Motor Evreleri, klinik değerlendirmede sıkça kullanılan sistemlerden biridir. Ek olarak, hem denge hem de eklem hareket açıklığı gibi alt bileşenlerin detaylı değerlendirilmesi amacıyla Fugl-Meyer Motor Değerlendirme Skalası'ndan faydalanılabilir. İnmenin akut fazında kas tonusu genellikle azalmışken, zamanla tonusta artış gözlenir ve spastisite gelişebilir. Spastisite, rehabilitasyon sürecini uzatmasının yanı sıra sekonder komplikasyonlara yol açabilme potansiyeli nedeniyle düzenli olarak izlenmesi gereken bir durumdur. Klinik pratikte spastisitenin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan, kolay uygulanabilir ve güvenilir bir araç olan Modifiye Ashworth Skalası (MAS) bu amaçla tercih edilmektedir (32).

4.5.4. Duyusal Bozukluklar

İnmeye bağlı gelişen duysal defisitler, sıklıkla motor bozukluklarla benzer bir anatomik dağılım sergiler. Bu duysal kayıplar genellikle heterojen bir özellik gösterir; hem tipi hem de şiddeti bireyler arasında değişkenlik arz eder ve çoğunlukla tam olmayan bir niteliktedir. Özellikle konfüzyon ya da bilişsel işlev bozukluğu bulunan hastalarda somatosensoriyel değerlendirmenin güvenilirliği azalabilmekle birlikte, sistematik bir yaklaşım çerçevesinde ağrı, hafif dokunma, sıcaklık, eklem pozisyon hissi, vibrasyon duyusu ve kortikal duyu (örneğin stereognozi, grafestezi) değerlendirmeleri mutlaka gerçekleştirilmelidir. Duyusal bozuklukların, eklem stabilitesi, cilt bütünlüğü, postüral denge, koordinasyon ve üst düzey motor kontrol üzerindeki olası olumsuz etkileri multidisipliner bir yaklaşımla detaylı şekilde analiz edilmelidir (33).

4.5.5. Denge ve Postür

İnme sonrası ortaya çıkan denge bozuklukları, çok bileşenli patofizyolojik mekanizmaların etkileşimi sonucu gelişir. Bu bozukluklar arasında serebellar disfonksiyon, kas kuvvetinde azalma, eklem hareket açıklığında kısıtlılıklar, kas tonusundaki değişiklikler

(hipotoni veya spastisite), motor planlama ve koordinasyonda yetersizlikler ile somatosensoriyel, görsel ve vestibüler sistemlere ait duyuşal girdilerdeki kayıplar yer almaktadır. Klinik değerdendirmelerde, inme geçiren bireylerde sıklıkla postüral salınının arttığı, otomatik postüral yanıtların bozulduğu, stabilite limitlerinin daraldığı ve vücut ağırlık merkezinin etkilenmeyen taraf yönünde kaydığı gözlemlenir. Bu durum, alt ekstremiteler arasında asimetrik yük dağılımına yol açmakta ve bireyin dengede kalma kapasitesini önemli ölçüde azaltmaktadır (19).

4.5.6. İnmede Sekonder Komplikasyonlar

İnme sonrası görülebilecek komplikasyonlar arasında uyku bozuklukları, yorgunluk, derin ven trombozu, pulmoner emboli, disfaji, aspirasyon pnömonisi, malnütrisyon, depresyon, düşme, üst ekstremitte komplikasyonları (omuz ağrısı, omuz subluksasyonu, spastisite, kontraktür, adeziv kapsülit, rotator kuff sorunları, kompleks bölgesel ağrı sendromu, brakiel pleksus lezyonu gibi), spastisite, osteoporoz, üriner sorunlar (inkontinans, retansiyon, enfeksiyonlar gibi) ve bağırsak sorunları (inkontinans, kabızlık gibi) yer alır. (19)

4.6. İnme Rehabilitasyonu

İnme, yaygınlığı, ciddiyeti ve kalıcı özürlülüğe yol açma potansiyeli nedeniyle küresel ölçekte önemli bir sağlık sorunu teşkil etmektedir. Rehabilitasyon, inme sonrası hasta bakım sürecinin ayrılmaz ve kritik bir bileşenidir. İyi organize edilmiş multidisipliner inme ünitelerinde yürütölen rehabilitasyon uygulamalarının ya da hastaneden taburculuk sonrasında sağlanan erken destekli taburcu programlarının, fonksiyonel iyileşmeyi anlamlı düzeyde desteklediğı iyi bilinmektedir.

İnme sonrası iyileşme süreci, doğası gereğı heterojen bir seyir izlemektedir. Uzun vadeli klinik sonuçlar; inme lezyonunun anatomik lokalizasyonu, lezyonun hacmi ve sonrasında gelişen nöroplastisite temelli iyileşme süreçlerinin kapsamı ile yakından ilişkilidir. Bu iyileşme, spontan mekanizmalar ile öğrenmeye bağılı yeniden organizasyon süreçlerinin bir arada işlediğı dinamik ve çok boyutlu bir fizyolojik yanıt olarak değerdendirilmektedir. Dolayısıyla, bireyselleştirilmiş ve kanıta dayalı rehabilitasyon yaklaşımları, inme sonrası işlevsel kazanımların en üst düzeye çıkarılmasında temel rol oynamaktadır (34).

İnme rehabilitasyonunda motor iyileşme ile fonksiyonel iyileşme arasındaki ayrım, klinik değerlendirme ve müdahale planlaması açısından kritik öneme sahiptir. Motor iyileşme, inme sonrası ortaya çıkan kas gücünde azalma, koordinasyon bozuklukları, ince motor kontrol kaybı ya da ataksi gibi motor defisitlerin kısmen ya da tamamen düzelmesiyle karakterizedir. Bu tür bir iyileşme, nörolojik hasarın neden olduğu motor yetersizliklerin gerilemesiyle birlikte hastanın nöromotor kapasitesinde doğrudan bir artışı ifade eder. Motor iyileşme, lezyon sonrası gelişen inhibitör mikrosistemlerin çözülmesiyle pasif olarak meydana gelebileceği gibi, hedefe yönelik, yoğun ve tekrara dayalı rehabilitasyon yaklaşımları (örneğin, terapötik egzersiz protokolleri) yoluyla da aktif olarak desteklenebilir. Fonksiyonel iyileşme ise, bireyin günlük yaşam aktiviteleri (GYA), mobilite ve iletişim becerileri gibi işlevsel alanlardaki performansının klinik olarak anlamlı bir biçimde artmasıdır. Bu iyileşme, yalnızca motor kapasitedeki artışları değil, aynı zamanda bireyin çevresel düzenlemeler, yardımcı teknolojiler ve kompensatuvar stratejilerle günlük yaşamda daha bağımsız ve etkili bir şekilde işlev görebilmesini de kapsar. Bu iki iyileşme biçimi sıklıkla birbirleriyle ilişkilidir ancak her zaman paralel ilerlemez. Değerlendirme ve müdahale süreçlerinde hem motor hem de fonksiyonel kazanımlar ayrı ayrı ele alınmalı ve kapsamlı bir rehabilitasyon programı bireyin gereksinimlerine göre şekillendirilmelidir (35, 36).

4.6.1. İnmede Robotik Rehabilitasyon

Robotik sistemler, rehabilitasyon bağlamında genel olarak iki ana kategoriye ayrılmaktadır: uç efektör sistemleri (end-effectors) ve dış iskelet yapıları (ekzoskeletonlar). Uç efektörler, uzuvların distal bölümlerinin çevreyle etkileşime girerek uzanma ve kavrama gibi belirli görevleri yerine getirmesine olanak tanıyacak şekilde tasarlanmıştır. Dış iskelet sistemleri ise eklemler üzerinde tork üreten aktüatörler aracılığıyla her bir eklemin hareketini destekleyerek motor fonksiyonları artırmayı hedefler (37).

Robotik sistemler, hastaya özgü terapötik uygulamaların planlanmasına olanak sağlarken; görsel, duyuşal-motor ve bilişsel düzeyde sağladığı geri bildirimlerle tedavi sürecinin nesnel olarak izlenmesini mümkün kılar (38). Genellikle üst ya da alt ekstremiteye yönelik tasarlanmakta olup; motor performansın geliştirilmesi, kas aktivitesine ilişkin paternlerin optimize edilmesi, eklem hareket açıklığının artırılması ve bazı durumlarda bireyin günlük yaşam içerisindeki fiziksel hareketliliğinin teşvik edilmesi amacıyla kullanılmaktadır (39).

Robotik değerlendirme sistemleri, motor davranışın hem statik hem de dinamik koşullar altında objektif olarak ölçülmesini ve analiz edilmesini mümkün kılmaktadır. Bu sistemler, bireyin motor yetilerini yüksek hassasiyet ve detay düzeyinde değerlendirme kapasitesine sahip olduklarından, geleneksel klinik değerlendirme yöntemlerine kıymetli bir tamamlayıcı işlevi görmektedir. Yarı otomatik yapıları ve kullanıcı dostu uygulama özellikleri sayesinde, motor performansın izlenmesi daha sık ve tekrarlanabilir biçimde gerçekleştirilebilmekte; böylece iyileşme süreci daha yakından takip edilebilmektedir (40).

4.6.1.1. Üst Ekstremit Robotları

Üst ekstremit yönelik robotik cihazlar hem rehabilitasyon amacıyla hem de üst ekstremit fonksiyonlarının değerlendirilmesinde nicel bir sonuç veren ölçüm amacıyla kullanılabilir. Geleneksel klinik değerlendirme yöntemleri çoğunlukla gözlem temelli ve sıralı ölçeklere dayanmakta olup; taban-tavan etkileri ve güvenilirlik gibi önemli kısıtlılıklar barındırmaktadır. Robotik sistemler ise, duyu-motor bozukluklar, spastisite, kinestezi ve propriosepsiyon gibi çok boyutlu nöromotor işlevlerin hassas ve nesnel biçimde ölçülmesini mümkün kılmaktadır (41-45).

Literatürde st ekstremit robotlarının rehabilitasyon alanındaki etkilerini araştıran çok sayıda çalışma mevcuttur. Gueye ve ark.'nın adaşlarının yaptığı bir çalışmada inme sonrası erken rehabilitasyon döneminde Arneo Spring cihazı ile uygulanan sanal gerçeklik destekli robotik üst ekstremit tedavisinin, motor fonksiyonların iyileştirilmesinde konvansiyonel fizyoterapiye kıyasla daha yüksek düzeyde etkililik gösterebildiği ve bu tedavinin hem 65 yaş altı hem de 65 yaş üstü bireylerde benzer terapötik kazanımlar sağladığı görülmüştür. (46) Bernocchi ve ark.'nın Gloreha Lite isimli robotik eldivenle evde yapılan rehabilitasyon çalışmasında el motor fonksiyonu, 9-DT ve Grip testinde iyileşmeler saptanmıştır (47).

4.6.1.2. Alt Ekstremit Robotları

İnme sonrasında alt ekstremit fonksiyonlarında görülen bozukluklar; yürüyüş döngüsünde anormallikler, denge kontrolünde yetersizlik, ağırlığın vücut üzerinde eşit dağılmaması (zellikle sağlam tarafa doğru kayma) ve postüral stabilitede artan salınım gibi

motor kontrol sorunlarını içerebilir. Robot destekli yürüme tedavisi sistemleri, özellikle alt ekstremitte tutulumunun daha belirgin olduğu bireylerde, yoğun insan gücüne ihtiyaç duyulmadan güvenli ve kontrollü bir ortamda yürüyüş pratiği yapılmasına olanak tanıyan etkili bir müdahale seçeneği olarak öne çıkmaktadır (38).

Yapılan bir metaanalizde bacakla çalıştırılan koşu bandı tabanlı ekzoskeleton robot eğitiminin, inme sonrası hastalarda denge fonksiyonunu daha fazla iyileştirebildiği saptanmıştır.(48) Ancak literatürde, yalnızca pasif hareket sağlayan robotik uygulamaların denge üzerinde anlamlı bir gelişim sağlamadığı bildirilmiştir. Bu durum, yürüme rehabilitasyonunun etkinliğini artırmak amacıyla hastanın aktif katılımını teşvik eden yaklaşımların önemini ortaya koymaktadır (38).

4.7. Sanal Gerçeklik

Bilgisayarlar, günlük yaşamın hemen her alanında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Günümüz teknolojik dönüşümünde önemli bir yere sahip olan SG, giderek artan bir biçimde günlük aktivitelerde de entegre edilmekte ve kullanım alanı genişlemektedir. Sanal gerçeklik, fiziksel katılım gerektiren, yapay duysal uyarılar sağlayarak kullanıcıyı zihinsel olarak içine çekebilen ve etkileşimli bir iletişim ortamı olarak tanımlanmaktadır (49).

Sanal Gerçeklik Deneyiminin Unsurları:

1. Sanal dünya (ortam)
2. İmmersiyon: Psikoloji bağlamında bireyin bir etkinlik sırasında tamamen sürece dahil olması anlamına gelmektedir. Daha açık bir ifadeyle, katılımcının sanal bir ortamda deneyime aktif olarak katıldığı ve bu süreçte zihninin bulunduğu fiziksel mekandan ayrıldığı bir durum olarak tanımlanabilir. Aktif ve pasif immersiyon olarak ikiye ayrılır. Aktif immersiyon, nesnelerle etkileşimi içerirken, pasif immersiyonda kullanıcılar hiçbir etkileşim olmadan yalnızca bilgi alırlar.
3. Duysal geri bildirim: Katılımcılara, gerçekleştirdikleri faaliyetlerin veya girdilerinin sonuçlarını ya da çıktılarını doğrudan gözlemleme olanağı sağlayan bir mekanizmadır.

4. Etkileşim: Sanal dünya ile etkileşimde bulunma ve bu dünyayı değiştirme yetisidir. Bu yeti, katılımcıların sanal nesnelerle gezinme, doğrudan manipülasyon veya farklı etkileşim biçimleri yoluyla dinamik olarak etkileşim sağlamasına olanak tanıyan sensörler ve diğer teknolojik cihazlar aracılığıyla gerçekleştirilir.

5. Katılımcılar

Sanal gerçeklik kullanılan teknoloji türü ve zihinsel immersiyon seviyesine dayanarak iki ana kategoriye ayrılır (50).

1. Temel Sanal Gerçeklik: Sanal gerçeklik ortamını görüntülemek için özel giriş veya çıkış aygıtlarına ihtiyaç yoktur. Ekran tabanlı, işaretçi odaklıdır ve üç boyutlu grafiklerle sunulur.

- o El Tabanlı: Cep telefonları , kişisel dijital asistanlar, ultra mobil bilgisayarlar ve taşınabilir oyun konsolları gibi elde tutulan cihazlar kullanılır
- o Monitör Tabanlı: Monitörlerde üç boyutlu grafiklerin görüntülediği masaüstü bilgisayarlardır (50).

2. Gelişmiş Sanal Gerçeklik

- o Kısmen Sarmalayıcı:
 - Duvar Projektörleri: Sanal bir dünyayı büyük bir ekranda görüntülemek için tek bir projektör kullanır. Burada, katılımcıların herhangi bir gözlük takmasına gerek yoktur çünkü bu tür sistemler sahneleri üç boyutlu olarak görüntüleyemez. Ancak, vücudun bazı kısımlarını izler ve özel eldivenlerin kullanılmasını gerektirir. Bu eldivenler katılımcıya sanal gerçeklik sistemiyle etkileşime girme yeteneği sağlasa da onun özgürlük derecesini sınırlar.
 - Immersa-Desk: Katılımcının projeksiyon ekranındaki içerikleri üç boyutlu bir deneyimde görebilmesi için özel gözlükler takması gerekir. Ekran, aynı içeriğin iki üst üste binen resmini veya stereo görüntüsünü sağlar, böylece katılımcının her gözü aynı sahneyi ancak biraz farklı bir açıdan alır. Bu, katılımcıya ekrandan çıkan üçüncü boyut hissini verir.

- Monoküler Baş Tabanlı: Katılımcının başına takılan, görsel ve işitsel geri bildirim sağlayan bir cihaz ile kullanıcı şeffaf ekranlar aracılığıyla sanal ve gerçek nesneleri bir arada görme yeteneğine sahip olabilir, sanal nesneleri bir gözüyle, gerçek dünyayı diğer gözüyle görebilir (50).
- o Tam Sarmalayıcı
 - Oda Tabanlı: Katılımcılar sanal gerçeklik deneyimlerini bir odanın içinde gerçekleştirirler.
 - Araç Simülasyonu
 - CAVE (Cave automated virtual environment)
 - Binoküler Baş Tabanlı: İki küçük ekran sanal sahneyi katılımcının her bir gözüne gösterir. Bu özellik daha geniş bir görüş alanı sağlamanın yanı sıra her ekranda farklı içerikler göstererek katılımcıya üçüncü boyutu iletir (50).

4.7.1. Sanal Gerçeklik ve Nöroplastisite

Nöroplastisite, beynin öğrenme süreçleri, deneyimsel girdiler ve hasar sonrası adaptasyonlar doğrultusunda sinaptik bağlantıları yeniden düzenleme ve yeni nöral yollar oluşturma kapasitesidir. Bu bağlamda, SG sistemleri ve beyin-bilgisayar arayüzleri, SSS üzerinde nöroplastik değişimlerin tetiklenmesi amacıyla kullanılan ileri teknoloji tabanlı yaklaşımlar arasında öne çıkmaktadır.

Sanal gerçeklik teknolojileri, duyuşal girdilerin kontrollü biçimde manipüle edilebildiği simüle edilmiş ortamlar sunarak, beynin çevresel uyarıcılara karşı verdiği tepkileri modüle etme potansiyeline sahiptir. Bu simülasyonlar, sinir sisteminde öğrenmeye ve adaptasyona aracılık eden yeniden yapılanmaları teşvik edebilir. Diğer yandan, beyin-bilgisayar arayüzleri, nöral aktivitenin gerçek zamanlı izlenmesine ve doğrudan modülasyonuna imkân sağlayarak, beyin ile harici cihazlar arasında çift yönlü bir iletişim köprüsü kurar. Bu özellikleri sayesinde beyin-bilgisayar arayüzü sistemleri, sinirsel aktivitenin hem izlenmesine hem de hedefe yönelik olarak düzenlenmesine olanak tanır.

Güncel araştırmalar, SG tabanlı müdahalelerin özellikle hipokampus, prefrontal korteks ve motor korteks gibi nörokognitif açıdan kritik bölgelerde anlamlı nöroplastik yeniden yapılanmaları tetikleyebileceğini göstermektedir. Bu yapısal ve işlevsel değişiklikler; bellek konsolidasyonu, mekânsal yönelim ve yürütücü işlevlerdeki gelişmelerle ilişkilendirilmiştir.

Ayrıca, SG ortamlarında dikkat, algı ve problem çözme gibi bilişsel becerileri hedefleyen görevlerin entegre edilmesi, öğrenme ve hafıza süreçlerinde kritik rol oynayan sinaptik plastisiteyi destekleyebilir. Bu bağlamda, sinapslarda meydana gelen güçlenme ya da zayıflama, deneyime bağlı nöral adaptasyonun temelini oluşturur (51).

4.8. Nörorehabilitasyonda Sanal Gerçeklik

Sanal gerçeklik, yalnızca oyun ve eğlence alanlarında değil, aynı zamanda kişiselleştirilmiş tıbbın uygulanmasında da önemli bir potansiyel taşımaktadır. Kullanıcı motivasyonu ve katılımını artıran eğlence unsurlarının yanı sıra, SG tabanlı sistemler sayesinde eğitim protokollerinin yoğunluğu ve zorluk düzeyi bireysel ihtiyaçlara göre dinamik olarak uyarlanabilmektedir. Bu esneklik, tüm duyuşsal modalitelerin uyarılmasına ve bireyin sürece aktif katılımının sağlanması için olanak tanır.

Sanal gerçeklik teknolojisi, motor ve bilişsel becerilerin yeniden kazanımına yönelik müdahalelerin daha ekolojik geçerliliğe sahip, etkileşimli ve ödüllendirici ortamlarda gerçekleştirilmesini mümkün kılar. Gerçek zamanlı, çok modlu geri bildirim mekanizmaları sayesinde, tedavi süreci boyunca bireyin klinik durumuna ve değişen ihtiyaçlarına anlık olarak adapte olabilen bir rehabilitasyon yaklaşımı sunar. Bu özellikler, nöroplastisiteyi destekleyici hedefe yönelik ve bireyselleştirilmiş rehabilitasyon uygulamalarının etkinliğini artırma potansiyeline sahiptir (52).

Sanal rehabilitasyon uygulamalarında, motor hareketlerin doğru bir şekilde izlenebilmesi ve analiz edilebilmesi için hareket tanıma yetisine sahip sensör teknolojileri temel bir bileşen olarak kabul edilmektedir. Bu teknolojiler, üst ekstremitte rehabilitasyonunda kullanılan giyilebilir ve giyilemez sistemler olmak üzere iki ana kategoriye ayrılmaktadır. Giyilemez sistemler, genellikle görsel sensörlere dayalı olarak çalışmakta olup, bazı uygulamalarda robotik denetleyiciler veya üç serbestlik derecesine sahip mekanizmalarla birlikte ya da ayrı ayrı kullanılmaktadır. Öte yandan, giyilebilir sistemler sıklıkla veri

eldivenleri veya dış iskelet yapıları aracılığıyla kullanıcı hareketlerini algılamaktadır. Giyilemez sistemlerde kullanılan kamera tabanlı algılama yöntemleri, zaman içerisinde evrim geçirerek basit web kameralarıyla işaretleyici veya renk yaması takibinden, derinlik algılama teknolojileri ile vücut ve el hareketlerinin daha detaylı izlenmesine doğru bir gelişim göstermiştir. Bu gelişim sayesinde, kullanıcı hareketleri herhangi bir fiziksel kısıtlama olmaksızın belirli bir alan içerisinde hassas biçimde takip edilebilmektedir. Giyilebilir sensör sistemleri ise yüksek frekansta veri toplayabilen sensörler aracılığıyla konum, hareket, kuvvet ve tork gibi parametreleri sürekli olarak izleme imkânı sunmakta, böylece rehabilitasyon sürecine ilişkin daha ayrıntılı ve gerçek zamanlı veri elde edilmesini mümkün kılmaktadır (53).

Serebral palsi (SP), hareket ve postür gelişimini etkileyerek kalıcı motor bozukluklara ve buna bağlı olarak aktivite kısıtlılıklarına yol açan bir klinik tablodur. Bu durum, gelişmekte olan fetal ya da infant beyinde meydana gelen, ilerleyici olmayan ancak kalıcı hasarlarla sonuçlanan lezyonlar veya anormallikler neticesinde ortaya çıkar. Serebral palsi, pediatrik yaş grubunda en sık rastlanan fiziksel engellilik nedenlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Klinik tablo, etkilenen sinir sisteminin yeri ve hasarın şiddetine bağlı olarak değişkenlik gösteren motor, duyu, bilişsel ve davranışsal bileşenleri içerebilir (54). Son yıllarda SG, SP hastalarının tedavisinde tek başına ve yardımcı müdahale olarak kullanılmaktadır. Yapılan bir metaanalizde, SG uygulamalarının geleneksel rehabilitasyon programlarına eklenmesinin, müdahale sonrası ve kısa dönem takipte üst ekstremitelerde fonksiyonlarında, postural kontrolde ve dengede orta düzeyde iyileşme yarattığı ancak bu bulguların çok düşük düzeyde kanıta dayandığı; ayrıca bu uygulamaların orta dönem takipte yürüyüş kapasitesi ve alt ekstremitelerde kas gücü üzerine tedavi almayan bireylerle karşılaştırıldığında değişen büyüklükte etkiler yarattığına dair düşük kaliteli kanıta dayandığı vurgulanmıştır (55).

Multipl skleroz (MS), SSS'ni etkileyen, kronik seyirli ve otoimmün kökenli bir hastalıktır. Patofizyolojisinde inflamasyon, demiyelinizasyon, gliosis ve nöronal dejenerasyon yer almaktadır. Bu kompleks süreçler, hastalarda oldukça heterojen bir klinik tabloya yol açmakta olup; optik, duyu, motor, otonomik ve bilişsel sistemlere ait belirti ve bulgularla kendini göstermektedir. En sık rastlanan semptomlar arasında görsel bozukluklar, parestezi, lokalize kas güçsüzlükleri, mesane ve bağırsak fonksiyon bozuklukları ile çeşitli düzeylerde bilişsel yetersizlikler yer almaktadır (56). MS rehabilitasyonunda SG temelli müdahalelerin araştırıldığı güncel bir Cochrane derlemesine göre, üst ekstremitelerde fonksiyonu, bireysel katılım

düzeyi ve yaşam kalitesinin artırılmasında, herhangi bir tedavi uygulanmamasına kıyasla daha etkili olabileceğine yönelik bulgular mevcuttur. Ayrıca, sanal gerçeklik destekli rehabilitasyon denge ve postüral kontrol üzerinde olumlu etkiler sağlayabilir ve bu bağlamda bireyin günlük yaşama katılımını ve yaşam kalitesini artırmada geleneksel terapi yöntemlerine göre üstünlük gösterebilir (57). SG temelli görevler MS'li bireylerde bilişsel ve motor fonksiyonların rehabilitasyonuna yönelik bir nörorehabilitasyon aracı olarak kullanılabilir (58).

Parkinson hastalığı, titreme, kas rijiditesi ve bradikinezi gibi temel motor bulgularla karakterize edilen, progresif seyirli ve kompleks bir nörodejeneratif bozukluktur. Hastalığın ilerleyen evrelerinde, bazı olgularda postüral instabilite de tabloya eklenmekte olup, bu durum motor işlevselliği ve dengeyi daha da bozarak düşme riskini artırmaktadır (59). Parkinson hastalarında uygulanan SG tabanlı rehabilitasyon programlarının, geleneksel tedavi yaklaşımlarına kıyasla yürüme kapasitesi ve dinamik denge üzerinde daha belirgin iyileşmeler sağlayabildiği bildirilmiştir. Ayrıca, üst ekstremité fonksiyonlarında olumlu yönde gelişmeler gözlenebileceği de belirtilmektedir. Fiziksel egzersiz temelli iki farklı yaklaşımın karşılaştırıldığı çalışmalarda, SG destekli rehabilitasyonun; yürüyüş, denge, üst ekstremité işlevselliği ve yaşam kalitesinin zihinsel bileşenleri açısından genel klinik iyileşmeyi desteklemede, güvenli ve motive edici bir ortam sunarak geleneksel rehabilitasyona göre daha etkili olabileceği gösterilmiştir. Bu doğrultuda, Parkinson hastalığı olan bireylerde SG temelli müdahalelerin tamamlayıcı bir tedavi seçeneği olarak klinik uygulamalara entegre edilmesi önerilmektedir (60).

4.9. İnme Rehabilitasyonunda Sanal Gerçeklik Kullanımı

Nörolojik bozukluğu olan bireyler için rehabilitasyon müdahalelerinin temel amacı, terapötik uygulamalar sırasında motor becerileri yeniden öğrenmek ve bu gelişmeleri günlük yaşam aktivitelerine aktarabilmektir (61). İnme, diskinezi gibi kronik fiziksel yeti kayıplarının en sık görülen etiyolojik nedenidir. İnme sonrası bireylerin büyük bir kısmında, üst ekstremité işlevselliği, yürüme kapasitesi ve denge üzerinde değişen düzeylerde kısıtlılığa neden olan motor bozukluklar gelişmektedir. Bu motor kısıtlılıklar, hastaların fiziksel aktivitelere katılımını engelleyerek günlük yaşam aktivitelerinde bağımsızlıklarını azaltmakta ve dolayısıyla yaşam kalitesinde belirgin bir düşüşe yol açmaktadır (62).

Konvansiyonel inme rehabilitasyonu yaklaşımları, genellikle nörofizyolojik egzersizler, iş uğraşı terapisi ve rekreasyonel terapi gibi çeşitli disiplinlerden uzmanların oluşturduğu ekiplerin iş birliğiyle yürütülmekte olup; bu müdahaleler, hedefe yönelik motor becerilerin zamanla gelişimini desteklemek amacıyla yüksek frekansta ve yoğunlukta tekrarlayıcı uygulamalara dayanmaktadır (38).

İnme sonrası rehabilitasyon süreci, işlevselliğin yeniden kazanılması açısından hayati öneme sahiptir. Ancak bu sürecin etkinliğini sınırlayan çok sayıda yapısal ve sistemsel engel bulunmaktadır. Sağlık hizmetlerine erişimdeki kısıtlılıklar, finansal ve insan kaynağı eksiklikleri, multidisipliner ekiplerin koordinasyonundaki zorluklar ile sigorta sistemlerinin yetersizliği, bu süreci olumsuz etkileyen başlıca faktörler arasında yer almaktadır. Bu bağlamda, inme geçiren bireylerin bağımsız yaşama geri dönebilmelerini destekleyecek, daha etkili ve sürdürülebilir rehabilitasyon stratejilerine olan gereksinim giderek artmaktadır. Bu gereksinim doğrultusunda, teknolojik temelli terapötik yaklaşımların rehabilitasyon süreçlerine entegre edilmesi; nesnel ölçümlerle izlenebilen, tekrarlanabilir, kullanıcı motivasyonunu artıran ve bireye özgü uyarlamalar içeren uygulamalarla geleneksel yöntemleri tamamlayıcı nitelikte bir çözüm sunma potansiyeli taşımaktadır (38). Konvansiyonel rehabilitasyon yöntemleriyle kıyaslandığında SG tabanlı eğitimin en belirgin avantajı, plejik bireyler tarafından terapötik bir müdahaleden ziyade etkileşimli ve eğlenceli bir oyun deneyimi olarak algılanabilmesidir. SG uygulamaları, kullanıcıların dikkatlerini görev üzerine yoğunlaştırmalarını teşvik ederek içsel motivasyonu artırabilir ve tedaviye olan uyumu güçlendirebilir. Bu da, inme sonrası yaşanan nöropsikolojik travmaların rehabilitasyon sürecinde anlamlı bir iyileşme sağlamasına katkıda bulunabilir.

Sanal gerçeklik temelli rehabilitasyonun, üst ekstremité fonksiyonu ve denge becerilerinde anlamlı düzeyde iyileşme sağladığı çeşitli araştırmalarla ortaya konmuştur (62). Denge, inmeli bireylerin motor becerilerini yeniden kazanmasında kritik bir bileşen olmakla birlikte, rehabilitasyon süreci yalnızca motor kapasiteyle sınırlı değildir; görsel, vestibüler ve somatosensoriyel sistemler gibi çoklu duyuşal işlevleri de kapsamaktadır. Güncel meta-analiz bulgularına göre SG uygulamaları, bu işlevsel alanlarda etkili iyileşmeler sağlayarak denge performansında ileri düzeyde gelişme elde edilmesine katkı sunmaktadır (62). Bir metaanalizde SG destekli egzersiz tedavisinin, tek başına veya konvansiyonel tedaviyle birlikte uygulanmasının, yalnızca konvansiyonel tedavi ya da herhangi bir müdahale uygulanmayan kontrol grubuna kıyasla Fugl-Meyer Değerlendirme Ölçeği üst ekstremité motor fonksiyonu ve

eklem hareket açıklığı üzerinde anlamlı oranda daha fazla iyileşme sağladığı görülmüştür. Ayrıca manuel kas testi ile değerlendirilen kas gücü, Fonksiyonel Bağımsızlık Ölçümü (FBÖ) ve Modifiye Rankin Ölçeği ile değerlendirilen günlük yaşam aktiviteleri bağımsızlık düzeylerinde anlamlı derecede iyileşme görülmüştür. Ancak bu analizde SG destekli egzersiz tedavisinin spastisitede, dinamometre ile ölçülen kavrama gücünde, Brunnstrom üst ekstremitte evresinde, Kutu ve Blok Testi ile ölçülen el becerisinde, Action Research Arm Test, Wolf Motor Fonksiyon Testi, Motor Fonksiyon Testi ile ölçülen kol ve el motor yeteneği el motor becerisinde, Jebsen-Taylor El Fonksiyon Testinde, İnme Etki Skalası ile ölçülen yaşam kalitesinde, Motor Aktivite Günlüğü ile değerlendirilen günlük yaşamda üst ekstremitte kullanımında istatistiksel olarak anlamlı bir iyileşme gözlenmemiştir (63).

Gustavsson ve ark.'nın kronik inme hastalarının rehabilitasyonunda SG oyunlarına karşı hastaların deneyim ve algılarının araştırıldığı bir çalışmada Beat Saber oyunu kullanılmış ve bu oyun motive edici olarak tanımlanmıştır. Katılımcılar ayrıca GYA'de algılanan iyileşmeleri de belirtmişlerdir (64).

Sanal gerçeklik teknolojisinin sunduğu sanal ortam, beden hareketine dair algısal illüzyonları teşvik edebilir; bu durum motor korteksin aktivasyonunu artırarak kullanıcıda derin bir "dalma" hissi oluşturur. Bu etkileşim, nöroplastisiteyi destekleyerek sinaptik yeniden yapılanmayı tetikler ve inme sonrası hasar gören sinir ağlarının reorganizasyonuna olanak tanır. Böylece SG, santral sinir sistemine doğrudan etki ederek nörolojik rehabilitasyona özgün bir katkı sunar (62).

Geleneksel müdahalelere kıyasla SG temelli terapiler, çeşitli yapısal ve işlevsel avantajlar sunmaktadır. İlk olarak, mevcut sistemlerinin kurulum ve kullanım maliyetleri düşüktür; yalnızca bir ekran ve temel sanal gerçeklik donanımıyla uygulamalar gerçekleştirilebilir. İkinci olarak, tekrarlayıcı görev tabanlı eğitimlerin, inme sonrası motor becerilerin yeniden kazanımında etkili olduğu bilimsel olarak kanıtlanmıştır. Ayrıca, taşınabilirlik açısından avantaj sunan SG sistemleri sayesinde hastalar, ev ortamında düzenli rehabilitasyon programlarına devam edebilmektedir. Üçüncü olarak, mevcut platformlar farklı teknolojik sistemlerle entegre çalışabilir ki bu da uygulamaların erişilebilirliğini ve esnekliğini artırmaktadır.

4.9.1. Sanal Gerçeklik Tabanlı İnme Rehabilitasyonunda Klinik ve Teknik Parametreler

Başlıklı gözlükler çalışma sırasında genellikle ısı üretir, bu nedenle serin kalabilecek yapıda olması gerekir. Yeterli pil ömrüne sahip olması ve kablosuz kullanım avantaj sağlayabilir. SG rehabilitasyonu, uzun süreli terapilerde göz yorgunluğu veya fiziksel tükenmişlik yaratabilir. En yaygın problem hareket hastalığıdır. Hareket hastalığı, görsel yanıtın kullanıcı girdisine olan gecikmeli işlenmesi sonucu, gözlerden, iç kulaktaki vestibüler sistemden ve proprioseptif duyu reseptörlerinden gelen sinyallerin beyinde çelişmesiyle ortaya çıkar. Hareket hastalığı; baş izleme, görüntü oluşturma, görüş alanı, optik gibi sistemsel faktörlerden, görsel hareketi kontrol edememe, görsel hızlanma/yavaşlama, SG süresinin uzunluğu, sık baş hareketleri gibi uygulama ve kullanıcı etkileşiminden ve yaş, geçmişteki hareket hastalığı öyküsü, SG deneyimi eksikliği gibi bireysel algısal faktörlerden etkilenebilir (53, 65).

İnme sonrası üst ekstremité hareketlerinin kinematik özellikleri, SG ortamları ile fiziksel gerçeklik arasında anlamlı farklılıklar göstermektedir. Literatürde, hemiplejili bireylerin SG ortamında uzanma, kavrama ve görev tamamlama sırasında, yerleştirme fazının sonunda bilek ekstansiyonunu daha az, dirsek ekstansiyonunu ise daha fazla kullandıkları bildirilmiştir (66). Başlıklı gözlük tabanlı uygulamaları içeren çeşitli çalışmalar, SG ortamında gerçekleştirilen hareketlerin gerçek ortama kıyasla daha yavaş olduğunu ve uzamsal-zamansal parametrelerde belirgin sapmalar gözlemlendiğini ortaya koymaktadır (67-69). Rehabilitasyonun nihai hedefi olan gerçek yaşamda fonksiyonel bağımsızlığın artırılması bağlamında, bu kinematik farklılıklar SG tabanlı eğitimle kazanılan becerilerin günlük yaşama transferini sınırlayabilir (53).

İnme sonrası üst ekstremité rehabilitasyonunda, kazanılan fonksiyonel iyileşmelerin GYA'ne etkin biçimde aktarılabilmesi, tedavi başarısı açısından hayati bir öneme sahiptir. Ancak SG tabanlı uygulamalarda edinilen motor becerilerin gerçek yaşam performansına ne ölçüde yansıdığına ilişkin bulgular literatürde halen netlik kazanmamıştır (53). Bu alanda yapılan çalışmalar çelişkili sonuçlar ortaya koymakta; bazı araştırmalar anlamlı aktarım olduğunu gösterirken (70), bazıları ise SG eğitiminin günlük yaşamdaki işlevselliği sınırlı düzeyde etkilediğini bildirmektedir (53, 71-74). Bu bağlamda, SG ortamlarında derinlik algısının (immersiyon) geliştirilmesi ve buna bağlı olarak ortamın gerçekliğinin artırılması,

transferin etkinliği açısından kritiktir. Etkileşim sırasında sağlanan dokunsal geri bildirimlerin, kullanıcının sanal ortamla kurduğu duyusal-motor bağın güçlendirilmesine katkı sağlayarak gerçeklik algısını artırabilir. Ayrıca, SG ortamındaki görevlerin etkileşimsel boyutlarının, gerçek yaşamda karşılık gelen motor görevlerin kontrol parametreleriyle uyumlu hale getirilmesinin, sanal ortamda öğrenilen becerilerin gerçek ortama daha etkili biçimde aktarımını destekleyebileceği ileri sürülmektedir (53, 75).

Sanal gerçeklik tabanlı rehabilitasyonun klinik uygulamalarda sınırlı düzeyde benimsenmesinde, yalnızca hastaya özgü fiziksel ve bilişsel kısıtlılıklar değil, aynı zamanda teknolojiye adaptasyon güçlüğü ve düşük kullanıcı uyumu da belirleyici rol oynamaktadır. Uygulamada karşılaşılan başlıca engeller arasında; egzersiz yoğunluğunun bireysel düzeye göre ayarlanabilme kapasitesi, sanal ortamda kazanılan becerilerin gerçek yaşama ne ölçüde aktarılabildeği, klinik uygulayıcıların SG teknolojisi hakkındaki bilgi düzeyi, terapistlerin öz yeterlilik algısı ve teknolojiyi kullanım kolaylığına ilişkin değerlendirmeleri yer almaktadır. Bunlara ek olarak, teknik altyapıya ilişkin sorunlar, uygun fiziksel alan gereksinimleri, teknolojiye erişim kısıtlılıkları ve SG uygulamalarının etkin kullanımı için gerekli öğrenme süresi de SG destekli rehabilitasyonu olumsuz etkileyen önemli faktörler arasında sayılmaktadır (53, 76, 77).

4.10. İnmede st Ekstremit Motor Fonksiyon Değerlendirme

İnme, SSS' de ani ve fokal bir hasara yol açarak geniş spektrumda nörolojik bozukluklara neden olabilir. Bu bozukluklar arasında en yaygın olanlardan biri, st ekstremit motor fonksiyon kaybıdır. Literatürde, inme geçiren bireylerin yaklaşık %85'inde, değerlen derecelerde st ekstremit parezisi geliştiği bildirilmiştir (78). Bu motor disfonksiyonlar, günlük yaşam aktivitelerini önemli ölçüde kısıtlayarak bireyin bağımsızlık düzeyini ve yaşam kalitesini olumsuz etkileyebilmektedir. st ekstremit motor fonksiyonunun nicel ve nitel olarak değerlendirilmesi, hem klinik karar alma süreçlerinin optimizasyonu hem de uygulanan rehabilitasyon protokollerinin etkinliğinin objektif bir biçimde izlenmesi açısından kritik bir rol oynamaktadır. Bu tür değerlendirmeler, bireyin mevcut motor kapasitesinin belirlenmesine olanak tanırken, aynı zamanda tedavi yanıtını izlemeye ve müdahalelerin bireyselleştirilmesine zemin hazırlar (3). Bu bağlamda, geçerli, güvenilir ve duyarlı ölçüm araçlarının kullanımı, rehabilitasyon sürecinin bilimsel temellere dayandırılması ve klinik sonuçların standardize biçimde karşılaştırılabilmesi açısından merkezi bir öneme sahiptir.

4.10.1. Fugl Meyer Testi

Fugl-Meyer Üst Ekstremité Değerlendirme Ölçeği, inme geçirmiş bireylerde hemiplejik ekstremitéye ait refleks yanıtları, istemli hareket kontrolü ve kas kuvvetini sistematik olarak incelemek amacıyla geliştirilmiştir (79). Her biri 0 ile 2 arasında puanlanan toplam 33 maddeden oluşmaktadır: Üst ekstremité (refleks aktivite 2 madde, yerçekimi desteği olmadan, sinerjik hareket paternleri dahilinde gerçekleştirilen istemli motor hareket 9 madde, kompanzasyon olmaksızın farklı sinerji paternlerini birleştirerek gerçekleştirilen istemli motor hareket 3 madde, minimal ya da hiç sinerji içermeyen istemli hareket 3 madde, normal refleks aktivite 1 madde) el bileği ve el fonksiyonları (12 madde), koordinasyon/hız (3 madde). Değerlendirmenin duyu (6 madde), pasif eklem hareketi (12 madde) ve eklem ağrısı(12 madde) bölümleri de mevcuttur. Puanlar şu anlama gelmektedir: 0=Hareket yok, 1= Kısmen yapılabilir, 2 = Tam ve normal şekilde yapılabilir (79). Yaygın olarak bir ölçek olsa da eksiklikleri arasında bireysel parmak hareketlerinin değerlendirilmemesi yer alır (80).

4.10.2. Motor Aktivite Günlüğü

Motor Aktivite Günlüğü, inme sonrası üst ekstremité rehabilitasyonunda, etkilenen kolun günlük yaşam aktiviteleri sırasında ne ölçüde ve nasıl kullanıldığını değerlendirmek amacıyla geliştirilmiş hasta temelli bir değerlendirme aracıdır (81). Bireylerden, yakın geçmişte gerçekleştirdikleri çeşitli günlük yaşam aktivitelerinde etkilenmiş üst ekstremitéyi ne ölçüde kullandıkları hakkında bilgi vermeleri beklenir. Bu değerlendirme, örneğin diş fırçalama, yemek yeme veya telefon kullanma gibi işlevsel görevleri içerir. Her bir görev, iki ayrı başlık altında derecelendirilir: kullanım miktarı ve hareket kalitesi. 0-5 arası puanlanır (82).

4.10.3. Wolf Motor Fonksiyon Testi

İnme sonrası gelişen üst ekstremité motor disfonksiyonunun nicel olarak değerlendirilmesine olanak tanıyan, süreye dayalı ve görev temelli bir performans testidir (83). Wolf Motor Function Test (WMFT), orijinal olarak 15 görev temelli öge ve 2 zaman ölçümlü güç testi olmak üzere toplam 17 maddeden oluşur. Her bir görev için maksimum 120 saniye tanınır. Her görev için hareket süresi saniye cinsinden kaydedilir. Ayrıca hareketin fonksiyonel kalitesi 6 puanlık ordinal bir skala ile değerlendirilir (0 = görev yapılamadı, 5 = normal performans) (83, 84).

4.10.4. Eylem Araştırması Kol Testi

Eylem Araştırması Kol Testi, kavrama, kavanoz açma, taşıma gibi üst ekstremité becerilerinin günlük yaşam aktivitelerine benzer görevler üzerinden değerlendirilmesi amacıyla geliştirilmiştir (85). 19 maddeden oluşur ve bu maddeler 4 alt grupta değerlendirilir: Tutma, tutup kaldırma, kaba motor hareketler, ince motor beceriler. Her madde 0 ila 3 arasında puanlanır (0 = Görev yapılamıyor, 1 = Kısmen yapılabiliyor, 2 = Yavaş veya zorluk yaşayarak yapılabiliyor, 3 = Normal sürede, doğru ve düzgün yapılabiliyor) (86).

4.10.5. Motor Değerlendirme Ölçeği

Motor Değerlendirme Ölçeği, inme geçirmiş bireylerin motor becerilerini değerlendirmeye yönelik, fonksiyonel görev odaklı bir ölçme aracıdır (87). Bu ölçek, hastaların günlük yaşam aktivitelerini andıran görevleri ne düzeyde yerine getirebildiklerini nesnel olarak değerlendirmeyi amaçlar. Her görev, 0 ile 6 arasında puanlanmakta olup, daha yüksek puanlar daha iyi motor performansı anlamına gelmektedir. Ölçek, temel olarak sekiz maddeden oluşur: Yataкта dönme, oturma dengesinin korunması, yataktan sandalyeye transfer, ayakta durma, yürüme, üst ekstremité fonksiyonu, el fonksiyonu, ileri el fonksiyonu (opsiyonel olarak kas tonusu değerlendirmesi eklenebilir) (87).

4. 10. 6. Kutu ve Blok Testi

Kutu ve Blok Testi, üst ekstremité motor fonksiyonu ile kaba el becerilerini değerlendirmek amacıyla kullanılan, yaygın ve standartlaştırılmış bir ölçüm aracıdır (88). Değerlendirme yapılırken birey test kutusunun önüne oturtulur, test edilen elin tarafındaki bölmede bloklar yerleştirilir, birey tek eliyle bir dakikalık sürede, blokları birer birer diğer bölmeye taşır. Taşınan blok sayısı, o elin puanı olarak kaydedilir. Her iki el için ayrı ayrı uygulanır. 60 saniye boyunca karşı bölmeye geçirilen toplam blok sayısı sayılır. Yüksek skor daha iyi kaba motor beceriyi gösterir (88, 89).

4. 10. 7. Chedoke Kol ve El Aktivite Envanteri

Chedoke Kol ve El Aktivite Envanteri, inme sonrası bireylerde üst ekstremité fonksiyonel kullanımını değerlendirmek amacıyla geliştirilmiş, performansa dayalı bir ölçüm aracıdır (90). Hastaların GYA'ne benzeyen görevleri ne ölçüde iki el ile gerçekleştirebildiğini

değerlendirmeye odaklanır. 7 puanlık nicel bir ölçek kullanılarak değerlendirilen 13 maddeden oluşur (90).

4.10. 8. ABILHAND

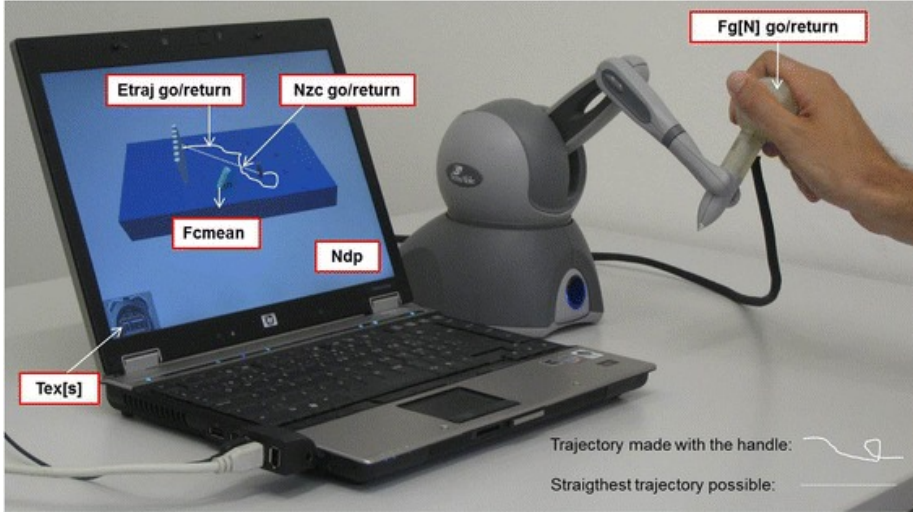
ABILHAND, bireylerin üst ekstremiteyi günlük yaşam aktivitelerinde ne ölçüde etkili kullanabildiğini değerlendiren, öz bildirime dayalı bir değerlendirme ölçeğidir (91). 23 günlük yaşam aktivitesi değerlendirilir. Her görev için 3 düzeyde puanlama yapılır (0 = Yapılamaz, 1 = Zorlanarak yapılabilir, 2 = Kolaylıkla yapılabilir) (91).

4. 10. 9. Dokuz Delikli Çubuk Testi

El becerisi ve ince motor kontrolün objektif bir biçimde değerlendirilmesine olanak sağlayan 9-DÇT, klinik ve araştırma ortamlarında sıkça kullanılan, kısa sürede uygulanabilen standardize edilmiş bir ölçüm aracıdır. Test, üzerinde 9 adet delik bulunan bir tahta tabla ve bu deliklere yerleştirilmek üzere tasarlanmış 9 küçük çubuktan oluşur. Katılımcıdan, çubukları belirli bir kutudan tek tek alarak deliklere yerleştirmesi ve ardından yine tek tek kutuya geri koyması istenir. Uygulama her iki el için ayrı ayrı gerçekleştirilir. Test süresi kronometre ile ölçülür ve tamamlanma süresi bireyin ince motor performans düzeyini yansıtır. Sürenin daha kısa olması, daha yüksek motor beceri düzeyine işaret eder. Kellor ve ark. tarafından 1971 yılında geliştirilmiştir (92). Mathiowetz ve ark. tarafından 1985 yılında yaş, cinsiyet ve ele göre normatif değerler belirlenmiştir (93). Çocuklarda (94), inmeli hastalarda (95), MS hastalarında (96, 97), tip 1 miyotonik distrofi hastalarında (98), unilateral serebral palsili hastalarda (99) geçerlilik ve güvenilirliği gösterilmiştir.

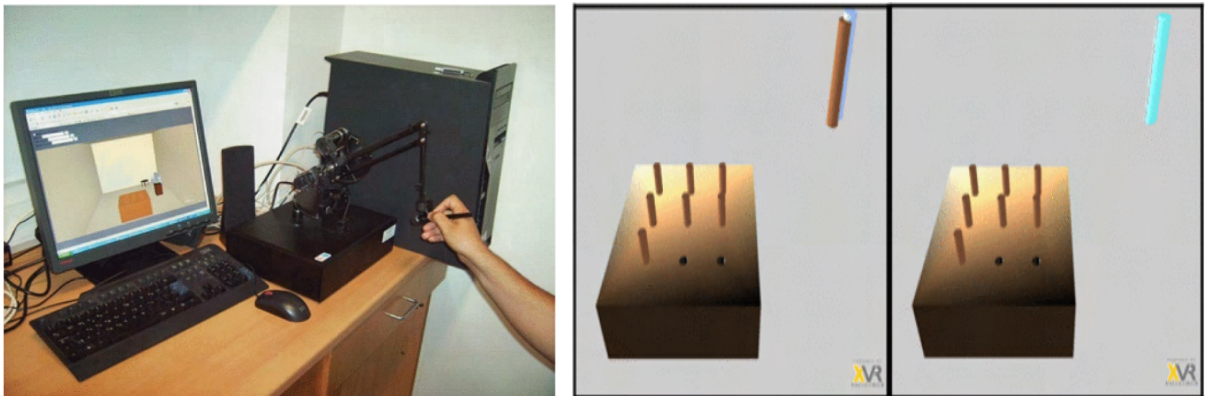
Dokuz delikli çubuk testinin sanal gerçeklik tabanlı uygulamaları ile ilgili teknolojik gelişmeler ve çalışmalar gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. SG ile dokunsal geri bildirimi birleştiren Virtual Peg Insertion Test (VPIT) buna bir örnektir. VPIT, sanal bir çubuk tahtasında yer alan dokuz deliğe dokuz sanal çubuğun kavranarak, taşınarak ve yerleştirilerek tamamlandığı hedef odaklı bir görev sırasında, üç boyutlu el pozisyonu, el yönelimi ve kavrama kuvvetinin hassas biçimde ölçülmesini sağlar. Bu ölçümler, Geomagic (ABD) tarafından üretilen PHANTOM Omni haptik cihazına entegre edilmiş kuvvet sensörleri aracılığıyla gerçekleştirilir. Kullanıcı, bu sensörlerle donatılmış bir tutamağı kavrayarak, konumlama ve kavrama kuvveti kontrolü yoluyla ilgili parametrelerin kaydedilmesini mümkün kılar. VPIT

yazılımı dokuz belirli parametreyi kaydeder ve hesaplar: T_{ex} [s]: saniye cinsinden yürütme süresi, N_{dp} : taşıma sırasında bırakılan mandal sayısı, E_{traj} [cm]git/dönüş yörünge hatası: N_{zc} [1/s]git/dönüş: ivmenin sıfır geçiş sayısı, F_g [N]git/dönüş: ortalama kavrama kuvveti; F_{cmean} [N]: ortalama çarpışma kuvveti. (8)



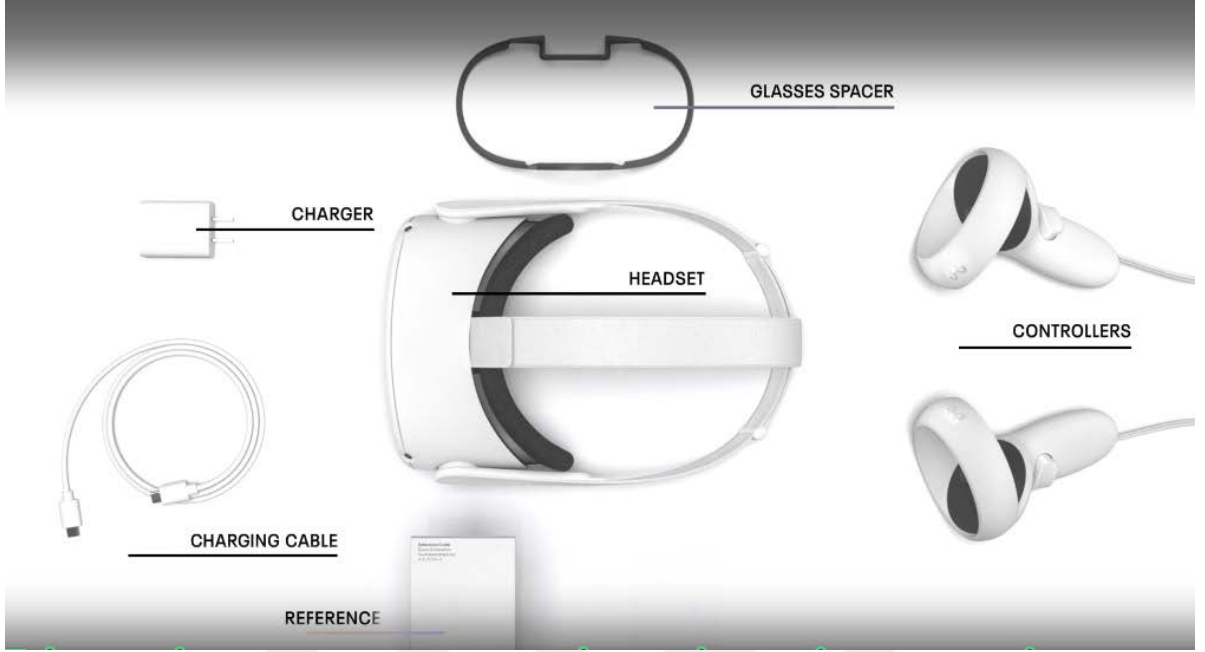
Şekil 4.1. VPIT Cihazı

Bir başka geliştirilmiş uygulama örneği Phantom Premium 1.5 Yüksek Kuvvet Dokunsal Arayüz (Sensable Technologies) ile kullanılan eXtreme Virtual Reality (XVR) yazılımıdır. MS'li kişilerin rehabilitasyonu için tasarlanmış ve geliştirilmiştir. Daha nicel ve nesnel bir değerlendirme yapılmasına, kinematik ve dinamik verilerin örneklenip analiz edilebilmesine olanak sunduğu belirtilmiştir (100).

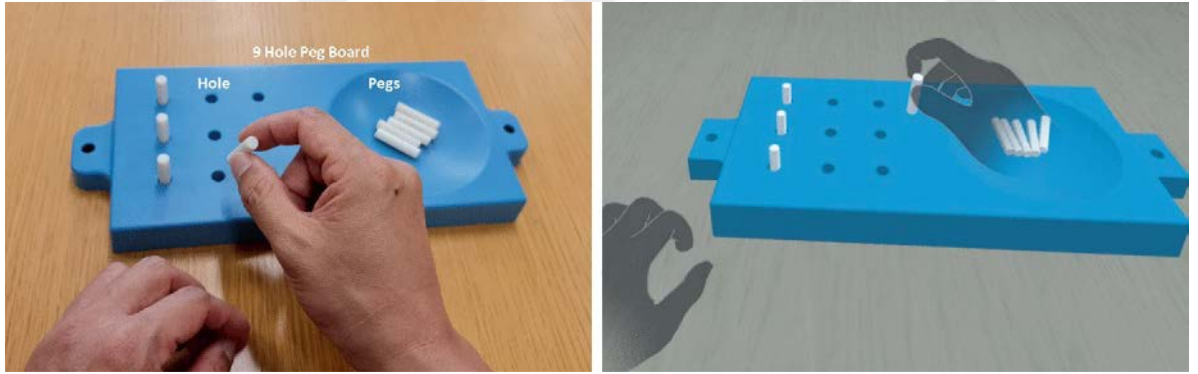


Şekil 4.2. Phantom Premium 1.5 Yüksek Kuvvet Dokunsal Arayüz ile kullanılan eXtreme Virtual Reality (XVR) yazılımı

Bir diğ er  rneği Unity 3D motoru (Unity Technologies, ABD) ve Meta Quest 2 başlığının kullanıldığı 9-D  T'dir.



şekil 4.3. Meta Quest 2 Başlığı (101)



şekil 4.4. Unity 3D motoru ve Meta Quest 2 Başlığının Kullanıldığı 9-D  T(102)

5. GEREÇ ve YÖNTEM

5.1. Araştırmanın Tasarımı

Bu araştırma kesitsel olarak planlandı. Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon kliniği veya polikliniğine başvuran, dahil edilme kriterlerini karşılayan gönüllü inmeli hastalar ve sağlıklı bireyler dahil edildi. Araştırma 2023-2025 tarihleri arasında iyi klinik uygulamalar kapsamında yürütüldü. Tüm katılımcılardan bilgilendirilmiş gönüllü olur formu alındı. Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi İnsan Araştırmaları Etik Kurulun'dan onay alındı (09.02.2023 tarih, İ02-56-23 sayı). Araştırmanın giderleri Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğü tarafından karşılandı (Proje kabul no: TTU-2023-2897). Clinical trials'a kaydedildi (Registry no: NCT06583772).

5.2. Gönüllü Niteliği

5.2.1. Araştırmaya dahil olma kriterleri

- 1- Dünya Sağlık Örgütü tanımına göre inme teşhisi almak
- 2- 18 yaşın üzerinde olmak
- 3- Brunnstrom motor evrelemesine göre üst ekstremité evresinin 3 ve üzerinde olması
- 4- Kognitif olarak yeterli olmak (verbal komut alabilecek ve uygulayabilecek durumda olmak)
- 5- Oturma dengesinin olması
- 6- Hasta veya yakınlarının bilgilendirilmiş gönüllü onam formunu doldurmuş olması

5.2.2. Araştırmaya dahil olmama kriterleri

- 1- Etkilenen üst ekstremitéde değerlendirmeyi engelleyecek artrit veya ağrı olması
- 2- Ciddi afazi varlığı
- 3- Kognitif veya psikiyatrik bozuklukların olması
- 4- İhmal fenomeni (neglect) tespit edilmesi

5- Hemianopsi varlığı

6- Spastisitenin Modifiye Ashworth Skalasına (MAS) göre 3 ve üzerinde olması

5.3. Gönüllülerin Değerlendirilmesi

Çalışmaya dâhil edilen inme geçirmiş bireyler ve sağlıklı gönüllülerin yaş, cinsiyet, medeni durum, öğrenim durumu, meslek gibi sosyodemografik özellikleri ile özgeçmiş bilgileri, inme geçirme tarihi, lezyon tipi, etkilenen vücut yarımı ve dominant el bilgileri ayrıntılı olarak sorgulanmış ve elde edilen veriler hasta takip formuna kaydedilmiştir (EK-1). Tüm gönüllüler, çalışma protokolü kapsamında ilk değerlendirme sırasında ve bu değerlendirmeden sonra 7 gün içerisinde olmak üzere iki kez değerlendirilmiştir. Her iki değerlendirme sürecine ilişkin bulgular sistematik biçimde hasta takip formuna işlenmiştir.

5.3.1. İnmeli Hastaların Değerlendirme Yöntemleri

- 1- Brunnstrom Motor Evrelemesi
- 2- Modifiye Ashworth Skalası
- 3- Mini-Mental Durum Değerlendirme Testi
- 4- Araştırmacı tarafından uygulanan fiziksel 9-DÇT
- 5- Bilgisayar ortamında uygulanan SG tabanlı S-9DÇT

5.3.2. Sağlıklı Gönüllülerin Değerlendirilme Yöntemleri

1. Mini-Mental Durum Değerlendirme Testi
- 2- Araştırmacı tarafından uygulanan fiziksel 9-DÇT
- 3- Bilgisayar ortamında uygulanan SG tabanlı S-9DÇT

Brunnstrom Motor Evrelemesi: İnme sonrası üst ekstremité, el ve alt ekstremité motor fonksiyonlarının değerlendirilmesi için kullanılan klinik bir sınıflandırma sistemidir. Fleksör ve ekstensör sinerjiler, sinerji paternlerinden ayrılan izole kas hareketleri incelenir. Üç bölümden oluşur. Her bölüm yedi evreden oluşur. Evre 1 flask evredir, istemli veya refleks aktif hareket yoktur. Evre 2’de sinerjiler ve spastisite oluşmaya başlar. Evre 3’te sinerjiler veya bazı komponentleri istemli yapılabilir, spastisite belirgindir. Evre 4’te sinerji dışı hareketler başlar,

spastisite azalır. Evre 5'te sinerjiden bağımsız daha koordineli hareketler yapılabilir, spastisite belirgin azalır. Evre 6'da izole hareketler yapılabilir, koordinasyon normale yakındır. Evre 7'de normal motor fonksiyon kazanılmıştır. (EK-3) (103, 104)

Modifiye Ashworth Skalası: Çalışmamızda hastaların dirsek fleksör ve ekstensör, ön kol pronator ve supinator, el bilek fleksör ve ekstensör, elparmak fleksör ve ekstensör kas gruplarının spastisite şiddetinin değerlendirilmesinde MAS kullanılmıştır. Bu skalaya göre normal kas tonusu evre 0, kas tonusunda hafif artış ve eklem hareket açıklığının sonunda minimal direnç evre 1, eklem hareket açıklığının yarıdan daha az kısmında minimal direnç evre 1+, eklem hareket açıklığı boyunca eklemde hareketi zorlaştırmayan belirgin kas tonusu artışı evre 2, pasif hareketi zorlaştıran belirgin kas tonusu artışı evre 3, etkilenen eklemin fleksiyon veya ekstansiyonda rijit olması evre 4 spastisite olarak değerlendirilir. (105, 106)

Mini-Mental Durum Değerlendirme Testi: Yönelim, kayıt etme, dikkat ve hesaplama, hatırlama ve lisan olmak üzere beş ana başlık altında toplanan on bir maddeden oluşur ve toplam puan olan 30 üzerinden değerlendirilir. (EK-2) (107)

Araştırmacı Tarafından Uygulanan Fiziksel 9-DÇT: Özellikle üst ekstremit motor fonksiyonlarını değerlendirmek amacıyla kullanılan, yaygın ve standartlaştırılmış bir ince motor beceri testidir. Gönüllü bir masa başında oturtulur, önünde 9-DÇT aparatı bulunur. Bu aparat, 9 adet küçük silindirik tahta veya metal çubuk ve 9 delikli tahta bir platformu içerir. Katılımcıdan, mümkün olan en kısa sürede tüm çubukları tek tek deliklere yerleştirmesi ve ardından hepsini tekrar tek tek çıkarması istenir. İlk çubuğun platformdan ele alınması ile kronometre başlatılır, son çubuğun çıkarılması ve platforma geri konulması ile kronometre ile durdurulur. Test her iki el için ayrı ayrı uygulanır. Zaman temelli bir test olup daha kısa sürede tamamlama, daha iyi motor performansa işaret eder. Araştırmamızda 9-DÇT hem innmeli hem de sağlıklı gönüllülerde her iki el için sadece ilk değerlendirmede yapılmış ve hasta takip formuna kaydedilmiştir.



Şekil 5.1. Fiziksel 9-DÇT Materyalleri



Şekil 5.2. Gönüllü Tarafından 9-DÇT Uygulanışı

Sanal Gerçeklik Tabanlı 9 Delikli Çubuk Testi: Becure™ firması tarafından egzersiz oyunu (exergame) olarak geliştirilen PinchPeg oyunu, 9 Delikli Çubuk Testi'nin SG ortamındaki bire bir versiyonudur. Araştırmamızda Pinchpeg oyunu SG tabanlı 9-DÇT olarak kullanılmıştır ve kısaca S-9DÇT olarak adlandırılacaktır. Bu yazılımın yüklü olduğu Monster Tulpar V19.2 model dizüstü bilgisayar ile hareket sensörü (Leap Motion Controller 1) kullanılmıştır.

Leap Motion Controller Cihazı: Ultraleap tarafından geliştirilen kullanıcıların ellerinin ve parmaklarının hareketlerini algılayan optik bir el izleme modülüdür. Leap Motion yazılımı, kemikler ve eklemler dahil olmak üzere eldeki 27 farklı unsuru ayırt edebilir ve bu unsurlar, elin diğer bölümleri tarafından gizlenmiş olsa bile izlemeye devam edebilir. Leap Motion Controller, kullanıcı etkileşimini cihazdan itibaren tercihen 60 cm'ye, maksimumda ise 80 cm'ye kadar uzanan bir derinlikte gerçekleştirebilir. Tipik görüş alanı $140 \times 120^\circ$ olup, sistem çeşitli çevresel koşullarda da el izleme işlevini sürdürebilir. Cihaz, 40 mm aralıkla konumlandırılmış iki adet 640×240 piksel çözünürlüğe sahip yakın kızılötesi kamera ile çalışır. Bu kameralar, $850 \text{ nm} \pm 25 \text{ nm}$ dalga boyunda, kızılötesi geçirgen cam pencere aracılığıyla görüntü alır ve saniyede 120 karelik tipik bir frekansta, $1/2000$ saniyelik yüksek hızda görüntü yakalayabilir. Ayrıca, cihazda ışık örtüşmesini önleyecek şekilde yerleştirilmiş, iki kamera arasında ve yanlarında konumlandırılmış toplam üç LED bulunur. Araştırmanın planlama ve yürütülmesi sırasında Leap Motion Controller 1 kullanılmıştır. Yakın zamanda firma tarafından mevcut cihazdaki eksiklikler giderilerek ve donanımsal iyileştirmeler yapılarak Leap Motion Controller 2 geliştirilmiştir. Firmanın ifadesine göre bu yeni nesil el takip teknolojisi ile, daha yüksek çözünürlüklü kamera, daha fazla görüş alanı, daha düşük güç tüketimi ve daha iyi görüntüler sunabilmektedir (108).



Şekil 5.3. Leap Motion Controller Cihazı (Hareket Sensörü)

Araştırma süresince kullanılan cihazlar, Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Cebeci Hastanesi SG Laboratuvarı'nda, standart bir sandalye ile uyumlu yükseklikteki bir masa üzerine sabitlenmiştir. Değerlendirme süreci boyunca çevresel uyarıcı veya dikkat dağıtıcı fiziksel etkenlerin bulunmamasına özen gösterilmiştir. Katılımcılar, masa karşısında oturur pozisyonda

konumlandırılmıştır. Uygulama öncesinde katılımcılara test cihazları tanıtılmış, cihazların çalışma prensipleri ve test süreci ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Katılımcıdan, elini Leap Motion Controller cihazının yaklaşık 10–15 cm üzerinde bir pozisyonda tutması istenmiştir. Ardından katılımcıya eliyle açma-kapama hareketleri yapması, elini sağa-sola ve yukarı-aşağı yönde hareket ettirmesi komutu verilmiştir. Bu esnada katılımcının, el hareketlerinin bilgisayar ekranında yansıtıldığını görmesi ve sistemin işleyişini kavraması sağlanmıştır.

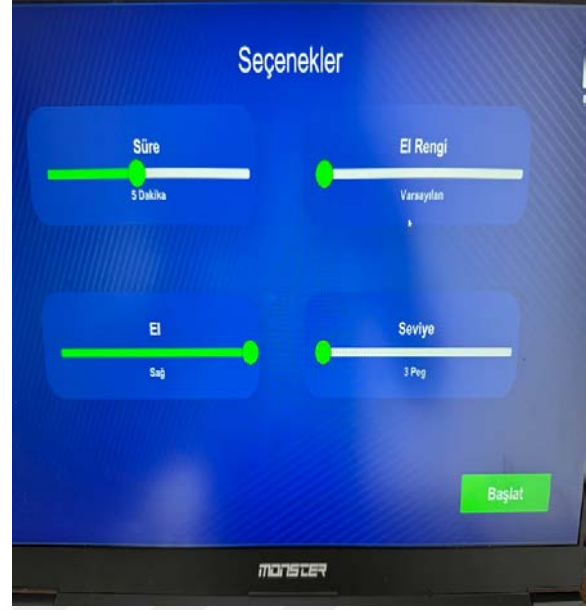
S-9DÇT'nin Uygulanma Basamakları (Şekil 5.4)

1. Test edilecek olan el seçilir.
2. Siyah renkli çubuk tutulur, tutma başarılı olduğunda çubuğun rengi sarıya döner, harekete hazırdır.
3. Doğru konuma getirilen çubuk deliğe takılmak üzere bırakılır, yerleştiğinde rengi yeşile döner.
4. Bir çubuk deliğe takıldıktan sonra, otomatik olarak yenisi saklama kabında belirir, tüm çubuklar bitene kadar tekrar edilir.
5. Bütün çubuklar deliklere takıldığında tüm çubuklar siyaha döner, çıkarma işlemine geçilir.
6. Takılı olan çubuk tutulabilir hale geldiğinde renk sarıya döner, tutmaya hazır duruma geldiğinde çubuk tutulup saklama kabına geri bırakılır.
7. Saklama kabına değen çubuk ekrandan kaybolur.
8. Tüm çubuklar saklama kabına geri bırakıldığında test biter.

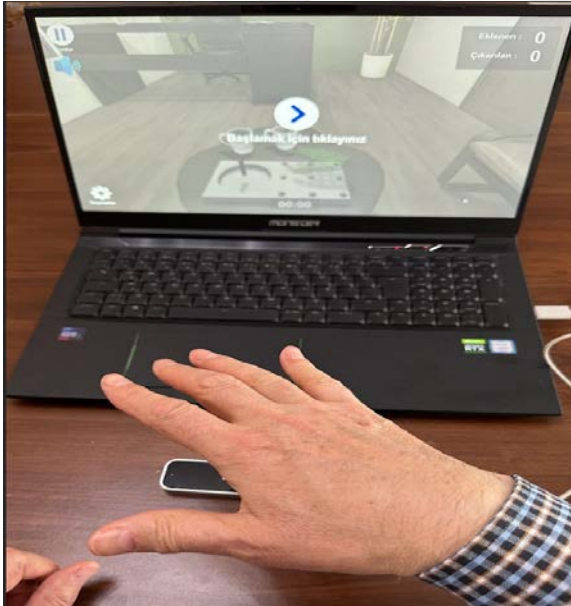
Her iki el için ikişer kez alıştırma uygulaması yapılmıştır. Alıştırma sürecinin ardından her el için test üç kez tekrarlanmış ve bu üç ölçümün ortalama süresi (saniye cinsinden) değerlendirme formuna kaydedilmiştir. İlk uygulamadan sonra 7 gün içerisinde test tekrarlanmış ve elde edilen veriler takip formuna eklenmiştir.



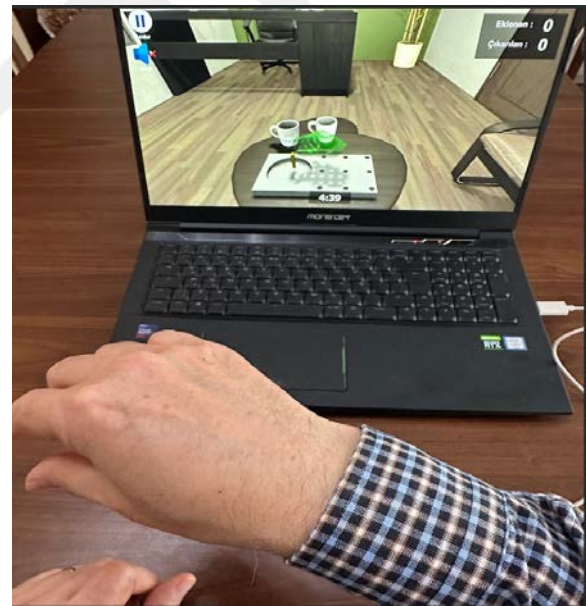
Ana ekran, PinchPeg oyunu ve Leap Motion Controller



SG tabanlı 9-DÇT olarak kullanılan PinchPeg oyununda ayarlama ekranı (süre, el seçimi, çubuk sayısı, el rengi)



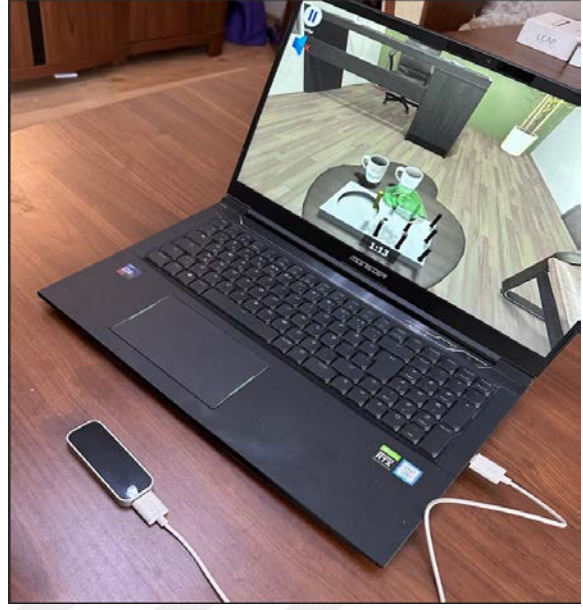
Katılımcının ekranda elini görmesi, hareketleri tanınması



Çubuğun tutulmaya hazır olma aşamasındaki sarı renk değişimi



Çubuğun deliğe yerleşmesi ve haznede yeni çubuğun belirmesi



9 çubuğun tamamının yerleştirildikten sonra çıkarmaya başlanması ve hazneye geri taşınması

Şekil 5.4. S-9DÇT'nin Uygulanma Basamakları

5.4. İstatiksel Analiz

Verilerin analizi SPSS v29.0 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İstatistiksel anlamlılık düzeyi $p < 0.05$ olarak kabul edilmiştir. Araştırma öncesinde güç analizi yapılmıştır. Etki büyüklüğü için 9-DÇT'nin test-tekrar test güvenilirlik analizine dayalı sınıf içi korelasyon katsayısı (ICC) dikkate alınmıştır. Ekstrand ve ark.'nın 2016 yılında yayımladıkları çalışmaya göre 9-DÇT için bildirilen ICC değeri 0,90 olarak rapor edilmiştir.(109) Buna göre anlamlılık düzeyi (α) 0,05, test gücü ($1-\beta$) 0,80, hipotez testi kapsamında sıfır hipotezine ait korelasyon katsayısı (ρ_0) 0,80 ve alternatif hipoteze ait korelasyon katsayısı (ρ_1) 0,90 olarak öngörüldüğünde, araştırmaya minimum 46 bireyin dahil edilmesi gerektiği belirlenmiştir.

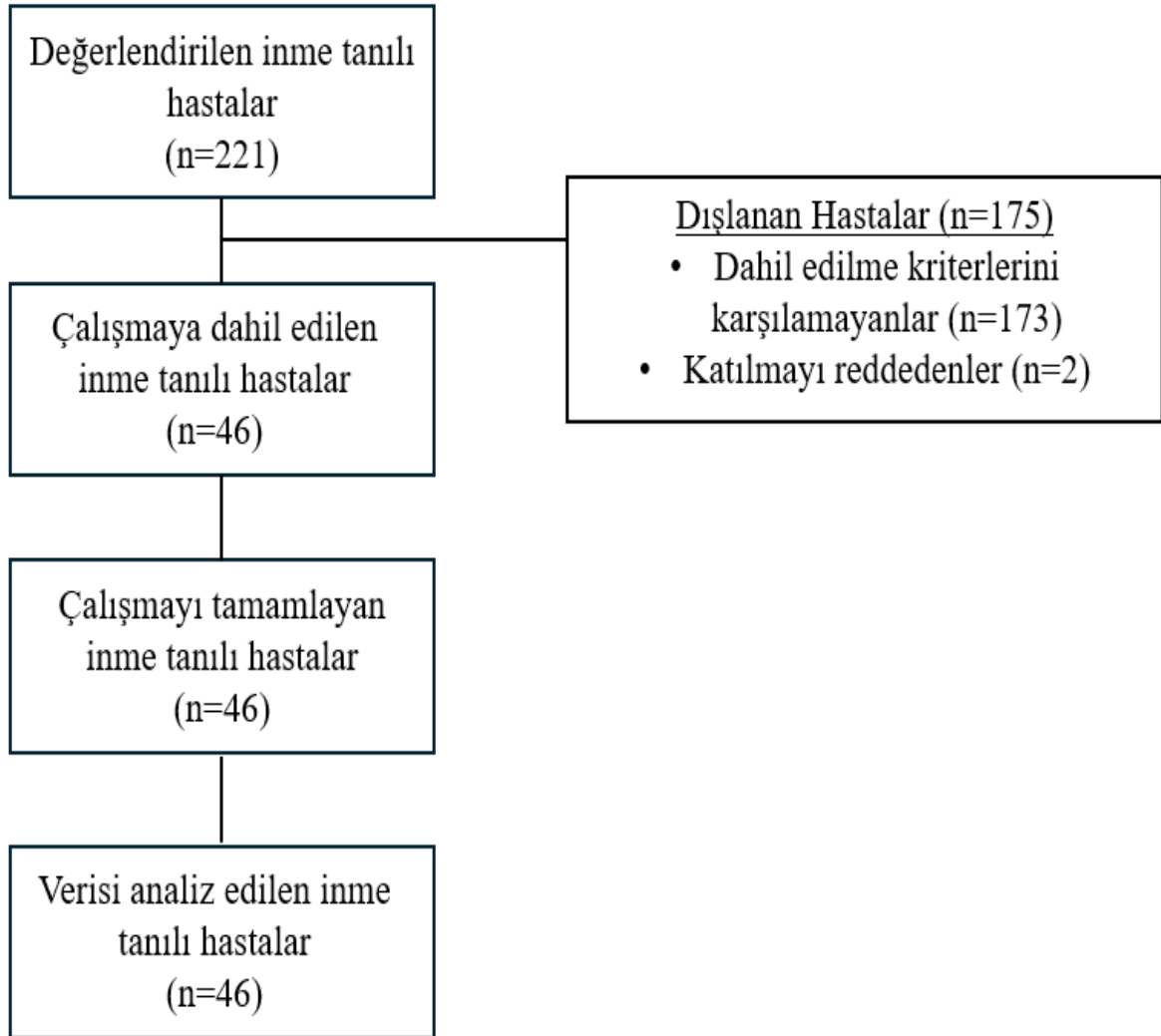
Gönüllülerin sosyodemografik özellikleri, klinik parametreleri gibi tanımlayıcı istatistiklerde; sürekli değişkenler ortalama $\pm$ standart sapma (SS), minimum ve maksimum şeklinde, kategorik değişkenler ise sayı ve yüzde (%) olarak sunulmuştur. Kategorik değişkenler için Pearson Ki-Kare ve Fisher Exact Testi kullanılmıştır. Değişkenlerin normal dağılıma uygunluğu Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro-Wilk testleri ile değerlendirilmiştir. Normal dağılan sürekli değişkenler için Student's t testi kullanılmıştır. Normal dağılmayan sürekli değişkenler ve sıralanabilir değişkenler için Mann-Whitney U testi kullanılmıştır.

Eşleştirilmiş örneklerde Wilcoxon testi ile normal dağılmayan sürekli değişkenler ve sıralanabilir değişkenlerin grup içi karşılaştırmaları yapılmıştır. Sürekli değişkenler arasındaki ilişki, verilerin dağılım durumuna göre normal dağılım gösteren veriler için Pearson korelasyon analizi, normal dağılım göstermeyen veriler için Spearman sıralı korelasyon katsayısı ile değerlendirilmiştir. Uygulanan ölçümlerin güvenilirliği, ardışık ölçümler arasındaki tutarlılığı değerlendiren test-tekrar test güvenilirliği ve testin geçerliliği (içsel tutarlılığı) belirlenmiştir. Test-tekrar test güvenilirliği iki-yönlü mikst etki modelinde tek ölçüm dikkate alınarak sınıf içi korelasyon katsayısı (ICC) ile, geçerlilik ise Spearman rho korelasyon katsayısı ile raporlanmıştır.



6. BULGULAR

Tarama sürecinde 221 inmeli hasta değerlendirildi. Bunların 173 tanesi dahil edilme kriterlerini karşılamadı, 2 tanesi de araştırmaya katılmayı reddetti. Sağlıklı grupta tüm katılımcılar değerlendirilmeye dahil edildi. Çalışmaya 46 inmeli ve 47 sağlıklı gönüllü dahil edildi. Çalışmanın akış şeması Şekil 6.1 görülmektedir.



Şekil 6.1. İnmeli Grup Akış Şeması

Araştırmaya dahil edilen inmeli ve sağlıklı gönüllülerin sosyodemografik özellikleri Tablo 6.1 ve Tablo 6.2’de görülmektedir. İnmeli hastaların yaş ortalaması (Ort±SS) $64,72 \pm 14,69$ idi. Hastaların biri hariç tamamında sağ el dominanttı (%97,8). Sağlıklı grubun yaş ortalaması (Ort±SS) $48,55 \pm 17,52$ idi ve büyük kısmında sağ el dominanttı (%87,2).

Tablo 6.1. İnmeli Grubun Sosyodemografik Özellikleri

	İnmeli Grup (n=46)
Yaş (yıl) Ort ± SS (min-maks)	64,72 ± 14,69 (23-90)
Cinsiyet n (%) Erkek Kadın	27 (58,7) 19 (41,3)
Medeni Durum n (%) Evli Bekar	32 (69,6) 14 (30,4)
Eğitim Durumu n (%) Okuryazar Değil İlkokul Ortaokul Lise Üniversite	1 (2,2) 22 (47,8) 6 (13) 6 (13) 11 (23,9)
Dominant El n (%) Sağ Sol	45 (97,8) 1 (2,2)

Ort: Ortalama, SS: Standart Sapma, Min:Minimum, Maks: Maksimum

Tablo 6.2. Sağlıklı Grubun Sosyodemografik Özellikleri

	Sağlıklı Grup (n=47)
Yaş (yıl) Ort ± SS (min-maks)	48,55 ± 17,52 (18-79)
Cinsiyet n (%) Erkek Kadın	12 (25,5) 35 (74,5)
Medeni Durum n (%) Evli Bekar	32 (68,1) 15 (31,9)
Eğitim Durumu n (%) Okuryazar Değil İlkokul Ortaokul Lise Üniversite	3 (6,4) 9 (19,1) 0 (0) 6 (12,8) 29 (61,7)
Dominant El n (%) Sağ Sol	41 (87,2) 6 (12,8)

Ort: Ortalama, SS: Standart Sapma, Min:Minimum, Maks: Maksimum

Araştırmaya dahil edilen inmeli grubun klinik özellikleri Tablo 6.3 ve 6.4’te görülmektedir. İnme sonrası geçen süre ortalama (Ort±SS) 10,78 ± 16,38 aydı. Hastaların %80,4’ünde lezyon tipi iskemikti. Brunnstrom değerlendirmesine göre hastaların %69,6’sında üst ekstremité 6. evrede, %80,4’ünde ise el 6. evredeydi. Ortalama Mini Mental Test skoru inme grubunda (Ort±SS) 26,13 ± 4,51 ve sağlıklı grupta (Ort±SS) 28,91 ± 2,15 idi.

Tablo 6.3. İnmeli Grubun Klinik Özellikleri-1

Klinik parametreler	İnmeli Grup (n=46) n (%)
İnme Süresi (ay) Ort ±SS (min-maks)	10,78 ± 16,38 (1-78)
İnme Öyküsü Var Yok	9 (19,6) 37 (80,4)
Lezyon Tipi İskemik Hemorajik	37 (80,4) 9 (19,2)
Hemiplejik Taraf Sağ Sol	20 (43,5) 26 (56,5)
Brunnstrom Üst Ekstremité Evresi 3 4 5 6 7	1 (2,2) 1 (2,2) 8 (17,4) 32 (69,6) 4 (8,7)
Brunnstrom El Evresi 2 5 6 7	1 (2,2) 5 (10,9) 37 (80,4) 3 (6,5)

MAS: Modifiye Ashworth Skalası; Ort: Ortalama, SS: Standart Sapma, Min:Minimum, Maks: Maksimum.

Tablo 6.4. İnmeli Grubun Klinik Özellikleri-2

Klinik parametreler	İnmeli Grup (n=46) n (%)
Dirsek Fleksör Spastisitesi (MAS) Grade 0 Grade 1 Grade 1+	 27 (58,7) 10 (21,7) 9 (19,6)
Dirsek Ekstensör Spastisitesi (MAS) Grade 0 Grade 1 Grade 1+	 15 (32,6) 19 (41,3) 12 (26,1)
Ön Kol Pronator Spastisitesi (MAS) Grade 0 Grade 1 Grade 1+ Grade2	 22 (47,8) 7 (15,2) 15(32,6) 2 (4,3)
Ön Kol Supinator Spastisitesi (MAS) Grade 0 Grade 1	 45 (97,8) 1 (2,2)
El Bilek Fleksör Spastisitesi (MAS) Grade 0 Grade 1 Grade 1+ Grade 2	 21 (45,7) 18 (39,1) 5(10,9) 2 (4,3)
El Bilek Ekstensör Spastisitesi (MAS) Grade 0 Grade 1 Grade 1+ Grade 2	 27 (58,7) 15 (32,6) 2 (4,3) 2 (4,3)
El Parmak Fleksör Spastisitesi (MAS) Grade 0 Grade 1 Grade 1+	 29 (63) 11 (23,9) 6 (13)
Mini Mental Test Skoru (puan) (MAS) Ort ±SS (min-maks)	 26,13 ± 4,51 (7-30)

MAS: Modifiye Ashworth Skalası; Ort: Ortalama, SS: Standart Sapma, Min:Minimum, Maks: Maksimum.

İnmeli grupta etkilenen taraf ve sağlam tarafta 9-DÇT ve S- 9DÇT süreleri karşılaştırıldı (Tablo 6.5). Buna göre hem hemiplejik hem de sağlam tarafta, SG tabanlı testin (S-9DÇT) tamamlanma süresi fiziksel teste (9-DÇT) göre anlamlı derecede daha uzun bulundu ($p<0,001$).

Tablo 6.5. İnmeli Grupta 9DÇT ve S-9DÇT Sürelerinin Karşılaştırılması

	9-DÇT (n=46)	S-9DÇT (n=46)	p
Hemiplejik taraf	66,98 ± 64,09 (18,16-307)	252,39 ±100,98 (126-516)	<0,001
Sağlam taraf	36,06 ± 20,42 (20-147)	201,37 ± 60,92 (108-348)	<0,001

9-DÇT: 9 Delikli Çubuk Testi, S-9DÇT: Sanal 9 Delikli Çubuk Testi; SS: Standart Sapma, p: Wilcoxon işaretli sıralar testi; Değerler (sn) cinsinden ortalama ± standart sapma ve minimum-maksimum süreyi ifade etmektedir.

Sağlıklı grupta ise dominant ve non-dominant tarafta 9-DÇT ve S- 9DÇT sürelerine ait sonuçlar Tablo 6.6’da verilmiştir. Sağlıklı gönüllülerde hem dominant hem de non-dominant tarafta SG tabanlı testin (S-9DÇT) tamamlanma süresi fiziksel teste (9-DÇT) göre anlamlı derecede daha uzun bulundu ($p<0,001$).

Tablo 6.6. Sağlıklı Grupta 9-DÇT ve S-9DÇT Sürelerinin Karşılaştırılması

	9-DÇT (n=47)	S-9DÇT (n=47)	p
Dominant taraf	21,3 ±3,65 13,97-31,18	160,21±56,81 43-353	<0,001
Non-dominant taraf	23,1±4,83 15,32-34,79	172,98±82,68 57-480	<0,001

9-DÇT: 9 Delikli Çubuk Testi, S-9DÇT: Sanal 9 Delikli Çubuk Testi; SS: Standart Sapma, p: Wilcoxon işaretli sıralar testi; Değerler (sn) cinsinden ortalama ± standart sapma ve minimum-maksimum süreyi ifade etmektedir.

İnmeli grupta S-9DÇT’nin test-tekrar test güvenilirliği iki ölçüm arasındaki uyuma bakılarak değerlendirilmiştir. ICC hemiplejik tarafta 0,487, sağlam tarafta 0,454 bulunmuştur (Tablo 6.7). Buna göre 9-DÇT ile karşılaştırıldığında S-9DÇT’nin güvenilirliği düşüktür denilebilir. Benzer şekilde sağlıklı grupta da dominant ve non-dominant tarafta S-9DÇT’nin test-tekrar test güvenilirliği düşük bulunmuştur (sırasıyla ICC:0,484 ve ICC:0,583) (Tablo 6.8).

Tablo 6.7. İnmeli Grupta S-9DÇT’nin Test-Tekrar Test Güvenirliği

	Ölçüm 1 (n=46)	Ölçüm 2 (n=46)	ICC (95 % CI)	p
Hemiplejik taraf	252,39 ± 100,98 126-516	226,83 ±84,29 98-464	0,487 (0,238-0,678)	<0,001
Sağlam taraf	201,37±60,92 108-348	190,5±52,9 63-300	0,454 (0,195-0,327)	<0,001

S-9DÇT: Sanal 9 Delikli Çubuk Testi; ICC: Sınıf içi korelasyon katsayısı; Değerler (sn) cinsinden ortalama ± standart sapma ve minimum-maksimum süreyi ifade etmektedir. p: İki-yönlü mikst etki modeli

Tablo 6.8. Sağlıklı Grupta S-9DÇT'nin Test-tekrar Test Güvenirliliği

	Ölçüm 1 (n=47)	Ölçüm 2 (n=47)	ICC (95 % CI)	p
Dominant taraf	160,21±56,81 43-353	154,13±55 38-284	0,484 (0,232-0,676)	<0,001
Non-dominant taraf	172,98±82,68 57-480	160,94±66,51 50-333	0,583 (0,360-0,743)	<0,001

S-9DÇT: Sanal 9 Delikli Çubuk Testi; ICC: Sınıf içi korelasyon katsayısı; Değerler (sn) cinsinden ortalama ± standart sapma ve minimum-maksimum süreyi ifade etmektedir. p: İki-yönlü mikst etki modeli

İnmeli grupta S-9DÇT'nin geçerliliği yani içsel tutarlılığı incelendiğinde, hemiplejik tarafta 9-DÇT ile S-9DÇT arasında zayıf korelasyon ($\rho=0,242$ $p=0,105$), sağlam tarafta ise çok zayıf korelasyon saptanmıştır ($\rho=0,086$ $p=0,571$) (Tablo 6.9). Sağlıklı grupta 9-DÇT ile S-9DÇT arasında hem dominant (sırasıyla $\rho=-0,053$ $p=0,722$) hem de non-dominant tarafta çok zayıf korelasyon saptanmıştır (sırasıyla $\rho=0,015$ $p=0,921$) (Tablo 6.9).

Tablo 6.9. İnmeli ve Sağlıklı Grupta S-9DÇT'nin Geçerliliği

	Tutulan Taraf	Spearman's rho	p
İnmeli Grup	Hemiplejik Taraf 9-DÇT- S-9DÇT	0,242	0,105
	Sağlam Taraf 9-DÇT- S-9DÇT	0,086	0,571
Sağlıklı Grup	Dominant Taraf 9-DÇT- S-9DÇT	-0,053	0,722
	Nondominant Taraf 9-DÇT- S-9DÇT	0,015	0,921

9-DÇT: 9 Delikli Çubuk Testi, S-9DÇT: Sanal 9 Delikli Çubuk Testi

Eğitim düzeyi ile fiziksel ve SG tabanlı 9-DÇT arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla inme grubu ve sağlıklı grup eğitim durumlarına göre iki alt gruba ayrıldı (Tablo 6.10). Birinci grup düşük eğitim düzeyi kabul edilerek okuryazar olmayanlar ve ilkökul mezunları dahil edildi. İkinci grup ise yüksek eğitim düzeyi kabul edilerek ortaokul ve üzeri eğitim düzeyine sahip bireylerden oluşturuldu. Buna göre, inmeli grupta hem hemiplejik hem de sağlam tarafta 9-DÇT ve S-9DÇT açısından eğitim düzeyleri arasında anlamlı bir fark bulunmadı ($p>0,05$). Sağlıklı grupta ise hem dominant hem de non-dominant tarafta yüksek eğitim düzeyli grup 9-DÇT'de düşük eğitim düzeyli gruba göre anlamlı oranda daha iyi performans gösterdi ($p<0,001$). S-9DÇT açısından iki grup arasında anlamlı fark bulunmadı ($p>0,05$).

Tablo 6.10. Eğitim Düzeyi ile Testler Arasındaki İlişki

Eğitim Düzeyi	Düşük Eğitim Düzeyi	Yüksek Eğitim Düzeyi	p
İnmeli Grup	(n=23)	(n=23)	
Hemiplejik Taraf			
9-DÇT	52,67±21,53 (18,16-120,09)	83,43±89,50 (20,8-307)	0,870
S-9DÇT	238,17±101,66 (135-516)	266,61± 100,49 (126-458)	0,238
Sağlam Taraf			
9-DÇT	34,27±9.65 (20,94-54,98)	37,84±27,44 (20-147)	0,416
S-9DÇT	197,22±57,82 (120-318)	205,52 ± 64,9 (108-348)	0,676
Sağlıklı Grup	(n=12)	(n=35)	
Dominant Taraf			
9-DÇT	25,05±3,47 (21,04-31,18)	20,02±2,73 (13,97-26,97)	<0,001
S-9DÇT	162,33±44,47 (96-241)	159,49±61,03 (43-353)	0,696
Nondominant Taraf			
9-DÇT	28,58±4,41 (22,95-34,79)	21,23±3,33 (15,32-29,83)	<0,001
S-9DÇT	151,83±29,5 (109-198)	180,23±93,57 (57-480)	0,487

9-DÇT: Fiziksel 9 delikli çubuk testi, S-9DÇT: Sanal gerçeklik tabanlı 9 delikli çubuk testi, OYD: okuryazar değil Değerler (sn) cinsinden ortalama ± standart sapma ve minimum-maksimum süreyi ifade etmektedir.

İnmeli hastalarda dominansın test sonuçlarına etkisi incelendiğinde, hem hemiplejik hem de sağlam tarafta, 9-DÇT ve S-9DÇT testlerinde dominant ve non-dominant taraf arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmamıştır ($p>0,05$) (Tablo 6.11). Hemiplejinin dominant tarafta olduğu hastalarda 9-DÇT ve S-9DÇT sürelerinde uzama tespit edilse de bu fark istatistiksel olarak anlamlı düzeye ulaşmamıştır. Sağlıklı grupta, 9-DÇT’de dominant tarafın istatistiksel olarak anlamlı düzeyde daha iyi performans sergilediği saptanmıştır ($p<0,001$)(Tablo 6.12). Buna karşılık, SG ortamında gerçekleştirilen test sonuçları dominant ve non-dominant taraf arasında benzer bulunmuştur ($p>0,05$).

Tablo 6.11. İnmeli Grupta Dominansın Test Sonuçlarına Etkisi

Etkilenen Taraf	Nondominant taraf (n=27)	Dominant taraf (n=19)	p
Hemiplejik taraf			
9-DÇT	58,51 ± 53,64 (18,16-307)	81,27 ± 78,54 (20,80-275)	0,443
S-9DÇT	242,37 ± 90,34 (137-516)	266,63 ± 115,49 (126-458)	0,585
Sağlam taraf			
9-DÇT	31,89 ± 7,54 (20,94-54,59)	41,98 ± 29,95 (20-147)	0,496
S-9DÇT	201,52 ± 60,40 (108-318)	201,16 ± 63,30 (120-348)	0,956

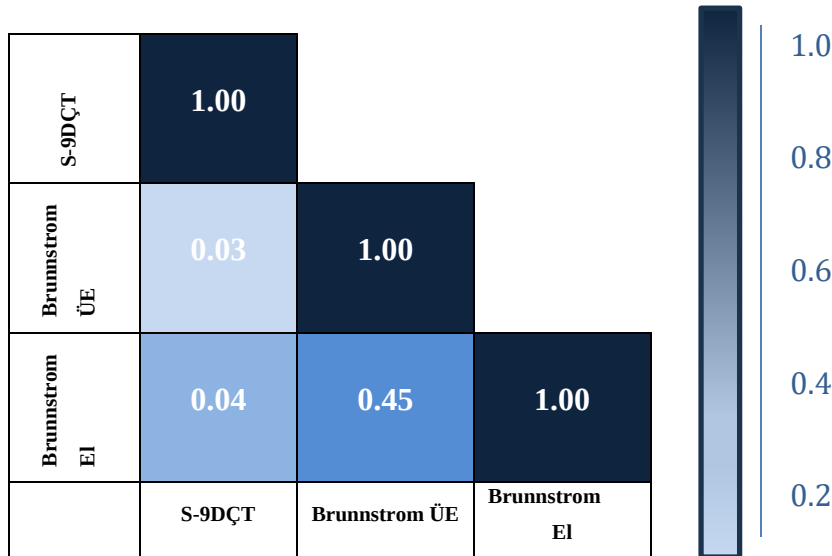
9-DÇT: 9 delikli çubuk testi, S-9DÇT: Sanal gerçeklik tabanlı 9 delikli çubuk testi

Tablo 6.12. Sağlıklı Grupta Dominansın Test Sonuçlarına Etkisi

	Dominant taraf (n=47)	Non-dominant taraf (n=47)	p
9-DÇT	21,3 ± 3,65 13,97-31,18	23,1 ± 4,83 15,32-34,79	<0,001
S-9DÇT	160,21 ± 56,81 43-353	172,98 ± 82,68 57-480	0,715

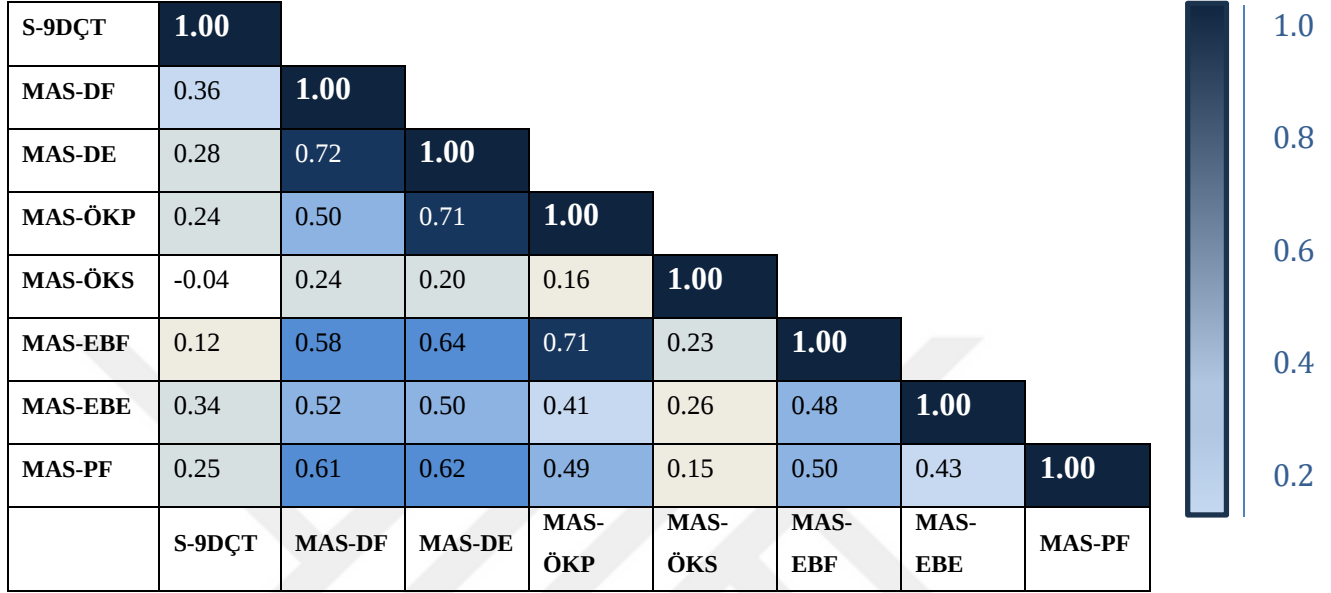
9-DÇT: Fiziksel 9 delikli çubuk testi, S-9DÇT: Sanal gerçeklik tabanlı 9 delikli çubuk testi

İnme grubunda hemiplejik tarafta uygulanan S-9DÇT ile klinik parametreler arasındaki ilişki incelendiğinde, Brunnstrom üst ekstremité ve el evreleri arasında zayıf düzeyde pozitif korelasyon saptanmıştır (Şekil 6.2).

**Şekil 6.2.** İnmeli Grupta S-9DÇT ile Brunnstrom Evresi Arasındaki İlişki

S-9DÇT: Sanal gerçeklik tabanlı 9 delikli çubuk testi, ÜE: Üst Ekstremité, Spearman Korelasyonu

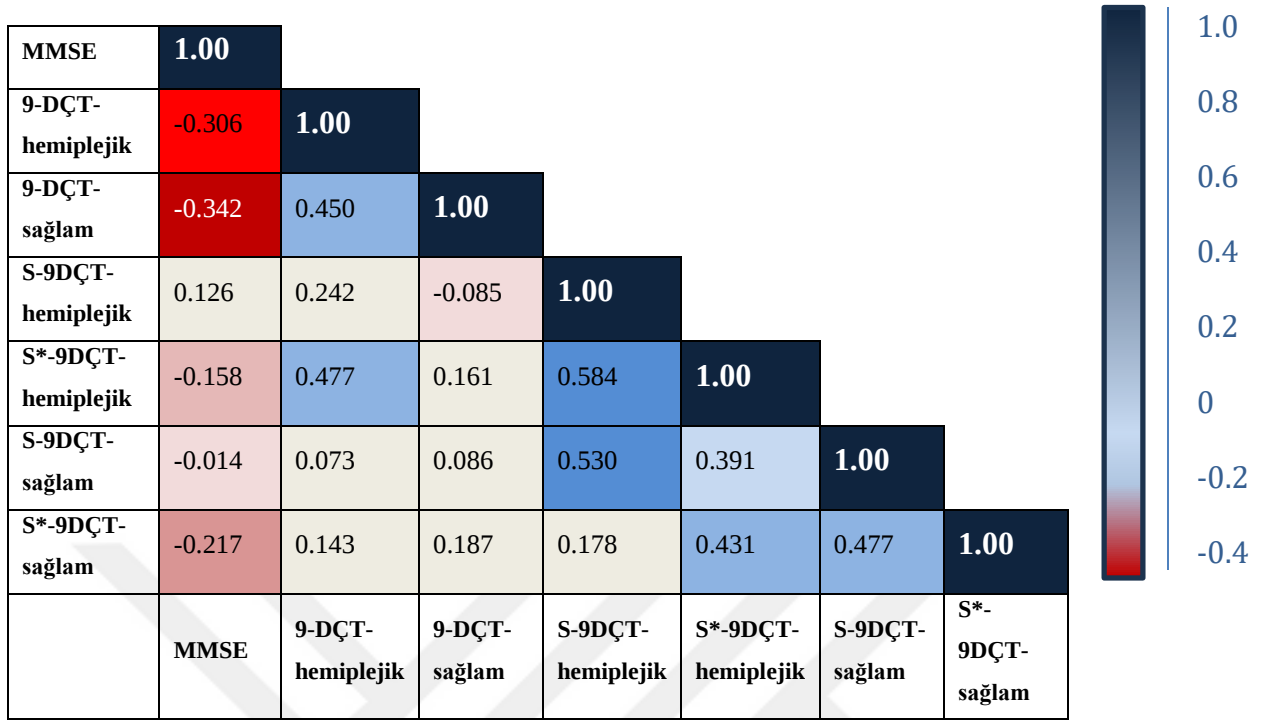
İnme grubunda hemiplejik tarafta gerçekleştirilen S-9DÇT ile üst ekstremité kaslarına ait MAS skorları arasında genel olarak zayıf düzeyde pozitif korelasyonlar gözlemlenmiştir (Şekil 6.3).



Şekil 6.3. İnmeli Grupta S-9DÇT ile Spastisite Arasındaki İlişki

S-9DÇT: Sanal gerçeklik tabanlı 9 delikli çubuk testi MAS: Modifiye Ashworth Skalası, DF: Dirsek Fleksör, DE: Dirsek Ekstensör, ÖKS:Ön kol supinator, ÖKP: Ön kol pronator, EBF: El Bilek Fleksör, EBE: El Bilek Ekstensör, PF: parmak fleksör, Spearman Korelasyonu

İnmeli grupta MMSE skorları ile 9-DÇT süreleri arasındaki ilişki incelendiğinde, hemiplejik ve sağlam tarafta negatif yönlü zayıf düzeyde korelasyon saptanmıştır (Sırasıyla $\rho = -0,306$, $p=0,039$; $\rho = -0,342$, $p=0,020$) (Şekil 6.4). Benzer şekilde MMSE skorları ile S-9DÇT 1. ve 2. ölçümleri arasında hemiplejik tarafta (sırasıyla $\rho = -0,126$, $p=0,404$; $\rho = -0,158$, $p=0,295$) ve sağlam tarafta (sırasıyla $\rho=-0,014$, $p=0,928$; $\rho = -0,217$, $p=0,147$) negatif yönlü zayıf düzeyde korelasyon saptanmıştır.



Şekil 6.4. İnmeli Grupta MMSE ile 9-DÇT Skorlarının İlişkisi

MMSE: Mini Mental State Examination, 9-DÇT: Fiziksel 9-DÇT, S-9DÇT: SG tabanlı 1.test, S*-9DÇT: SG tabanlı 2.test

Çalışmamızda S-9DÇT sırasında omuz ekleminin fleksiyon ve abduksiyon postüründe uzun süre kalmasına bağlı olarak inmeli grupta 23 gönüllü (%50), sağlıklı grupta 4 gönüllü (% 8,5) ilgili ekstremitede hafif omuz ağrısı tarifledi. Test bitiminde omuz ağrısı geçti. Ayrıca inmeli grupta 32 gönüllü (%69,5), sağlıklı grupta 10 gönüllüde (%21,2) test sırasında ilgili ekstremitede yorgunluk ortaya çıktı.

Ayrıca oyun (PinchPeg) ve hareket sensöründen (Leap Motion Controller) oluşan SG tabanlı S-9DÇT sırasında test ekranında donmalar, elin hareket sensörünün algı kapsamından çıkması nedeniyle ekrandan kaybolması, birden fazla çubuğun aynı anda ilerletilmesi, aynı deliğe iki çubuğun girmesi ve sonrasında çıkaramama gibi test süresini etkileyebileceğini düşündüğümüz bazı sorunlar yaşandı.

7. TARTIŞMA

Araştırmamızdan elde edilen veriler, Becure™ SG tabanlı S-9DÇT'in inmeli hastalarda yaygın olarak kullanılan ve standardize edilmiş bir test olan fiziksel 9-DÇT'ine uygun bir alternatif olmadığını göstermektedir.

Çalışmamızda inmeli hastalarda S-9DÇT'nin test-tekrar test güvenilirliği düşük düzeyde bulunmuştur. Mevcut bulgular fiziksel 9-DÇT ile kıyaslandığında S-9DÇT'nin inmeli hastalarda geçerli olmadığı sonucunu ortaya koymuştur. Literatürde inmeli hastalarda fiziksel ve SG tabanlı 9-DÇT'nin karşılaştırıldığı çalışmalarda benzer şekilde uyum düşük düzeyde bulunmuştur (102, 110). Tobler-Ammann ve ark., kronik inmeli hastalarda 9-DÇT ile kıyaslandığında SG tabanlı testin (Virtual Peg Insertion Test, VPIT) geçerliliğini düşük ancak test-tekrar test güvenilirliğini iyi düzeyde (ICC= 0,83) bulmuşlardır (8). Bu çalışmada VPIT ölçümü yapılırken dokunsal (haptik) bir arayüz kullanılmıştır. Çalışmamızda kullanılan SG tabanlı sisteminde ise katılımcılar ellerini ve parmaklarını görebilmelerine, ulaşabilecekleri ve dokunabildikleri mesafeyi hissedebilmelerine rağmen gerçek dokunma hissini deneyimleyememişlerdir. Bu durum haptik geri bildirim kullanan SG tabanlı testlerle kıyaslandığında bir dezavantaj olarak kabul edilebilir. Saptanan düşük geçerlilik, S-DÇT'nin doğası gereği fiziksel testten farklı olduğunu göstermekte ve bir oyun (PinchPeg) ve hareket sensöründen (Leap Motion Controller) oluşan SG tabanlı sistem ile yapılan ölçümün fiziksel 9-DÇT'den farklı olarak üst ekstremit motor performansının diğer bileşenlerini de gerektirdiğini ortaya koymaktadır. Örnek vermek gerekirse, fiziksel testte kişi omuz eklemine daha az kullanırken, SG tabanlı testte kişi elini sensörün üstünde tutabilmek için omuzunu sürekli fleksiyon ve abduksiyon pozisyonunda tutmak zorunda kalmaktadır. Ayrıca SG tabanlı uygulamada, ağırlık, yüzey dokusu ve temas basıncı gibi somatosensoryel geri bildirimin yokluğu, hatalı motor çıktılarına neden olabilecek önemli bir sınırlayıcı faktör olabilir. Yalnızca iki boyutlu görsel geri bildirime mevcut arayüzde derinlik algısının sağlanması, proprioepsiyonun eksikliği, tanımlanabilir bir kavrama postürünün oluşmasındaki zorluk nedeniyle test zorlaşmış ve bu da motor performansı olumsuz etkilemiş olabilir. Mevcut çalışmada kullanılan hareket sensörünün hareket tanıma kapasitesinin sınırlı olması, ölçüm hassasiyetini azaltarak test süresini etkilemiş olabilir. Nitekim üretici firma yakın zamanda sensörde bazı donanımsal iyileştirmeler yaparak daha gelişmiş yeni bir versiyon (Leap Motion Controller 2) geliştirmiştir. İnme sonrası gelişebilecek anormal el motor hareket paternleri de performans üzerinde kafa karıştırıcı etkiler oluşturabilecek diğer değişkenler arasında yer

almaktadır. Değerlendirmelerde bu nokta dikkate alınmalıdır, bu testler kendi içinde değerlendirilmelidir.

Çalışmamızda sağlıklı bireylerde de hem dominant ve hem de non-dominant tarafta S-9DÇT geçerli bulunmamış, test-tekrar test güvenilirliği ise düşük düzeyde bulunmuştur. İlginç olarak sağlıklı kişilerin de SG tabanlı testte oldukça zorlandıkları ve bu testi geleneksel 9-DÇT'ye kıyasla daha uzun zamanda tamamlayabildikleri gözlenmiştir. Bowler ve ark.'nın sağlıklı kişilerin dominant elleri üzerinde yaptıkları çalışmada fiziksel 9-DÇT test sanal teste göre daha kısa sürede tamamlanmıştır (111). Çalışmamızda dominant ve non-dominant eller hem fiziksel hem sanal ortamda kıyaslanmış ve yalnızca fiziksel ortamda dominant el anlamlı şekilde daha iyi performans göstermiştir. Bu bulgu literatürdeki benzer bir çalışma ile uyumludur (112). Elde ettiğimiz sonuç, testlerin doğası ve uygulanma biçimindeki farklılıklardan kaynaklanıyor olabilir. Fiziksel testte kişinin günlük yaşamdan aşına oldukları hareket kalıpları devreye girerken, SG ortamında yapılan uygulamalar daha farklı bilişsel ve algısal bileşenler içermektedir. Sanal test ortamı çoğu birey için yeni bir deneyim olması nedeniyle dominansın etkisini baskılayarak her iki elin performansını benzer düzeye çekmiş olabilir. Yani bireyler gerçek yaşamda dominant elleriyle daha becerikli olsalar da, dijital ortamın getirdiği farklı uyaranlara yanıt verirken bu avantaj belirginleşmemiş olabilir. İleride yapılacak çalışmalarda, bireylerin dijital deneyim düzeyleri, sanal ortama adaptasyon süreçleri daha ayrıntılı biçimde araştırılmalıdır.

İnmeli grupta hem fiziksel hem de SG tabanlı test ile eğitim düzeyi arasında bir ilişki bulunmamıştır. Bu bulgu, inme sonrası motor fonksiyonun daha çok nörolojik hasarın doğrudan etkileriyle belirlendiğini ve eğitim düzeyi gibi demografik değişkenlerden görece bağımsız olabileceğini düşündürmektedir. Sağlıklı gönüllülerde yüksek eğitilmiş bireylerin fiziksel 9-DÇT performansı daha iyi iken; SG tabanlı testte bir fark saptanmamıştır. SG tabanlı testin ölçme duyarlılığının sınırlı olması veya görev zorluğunun katılımcılar için tavan etkisi oluşturması bu sonucu açıklayabilir. Ayrıca test öncesinde iki kere alıştırma denemesi yapılmış olsa da bu deneklerin teste adaptasyonu için yeterli gelmemiş olabilir ve yüksek yada düşük eğitim düzeyine sahip bireylerin performansını dengelenmiş olabilir.

İnmeli grupta, hastaların MMSE skorları ile değerlendirilen bilişsel durumları ve S-9DÇT performansı arasında anlamlı ilişki bir bulunmamıştır. Sonuçlarımızdan farklı olarak Lee ve ark.'nın inme sonrası üst ve alt ekstremit motor iyileşmesi için erken öngörü faktörlerini

araştırdıkları çalışmada üst ve alt ekstremit motor iyileşmesi MMSE skorları ile ilişkili bulunmuştur (113). Bu farklılık, motor yetersizlik düzeylerinin bilişsel durumdan daha ön planda olması ve 9-DÇT'nin bilişsel düzeyle ilişkili ince farkları yansıtm kapasitesinin sınırlı olmasından kaynaklanıyor olabilir. Benzer şekilde, inmeli grupta hemiplejik tarafta uygulanan S-9DÇT ile Brunnstrom üst ekstremit ve el evreleri arasında da anlamlı bir ilişki saptanmamıştır. Brunnstrom evrelemesinin kademeli ve geniş aralıklı yapısı nedeniyle, motor fonksiyondaki ince değişimleri yansıtmakta yetersiz kalmış olabilir. Ayrıca hastaların çoğunun altıncı evrede olması potansiyel olarak bir tavan etkisi oluşturarak sonuçları etkilemiş olabilir.

İnme sonrası gelişen spastisitenin motor işlevler ve günlük yaşam aktiviteleri üzerinde olumsuz etkiler yaratabileceği, ağrıya yol açabileceği ve sekonder komplikasyon riskini artırabileceği yaygın olarak bilinmektedir (114, 115). Sommerfeld ve ark. inme sonrası üçüncü ayda spastisite gelişmeyen bireylerin motor ve aktivite düzeylerinin, spastik bireylere kıyasla anlamlı düzeyde daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir (116). Çalışmamızda ise inme grubunda hemiplejik tarafa uygulanan SG tabanlı 9DÇT ile üst ekstremit/el spastisite derecesi arasında bir ilişki saptanmamıştır. Bunun olası bir nedeni denek grubumuza sadece MAS skoruna göre spastisite derecesi düşük ve orta düzeyde olan bireylerin alınmış olması olabilir. Spastisitenin düşük düzeyde olması, S-9DÇT gibi ince motor performans ölçümlerini belirgin şekilde etkilememiş ve netice de test sonuçları ile MAS skorları arasındaki ilişkinin zayıf bulunmasına neden olmuş olabilir.

Çalışmamızın bazı güçlü yanları ve limitasyonları bulunmaktadır. Pre-hoc güç analizi ile uygun örneklem büyüklüğünün tespit edilmesi, inmeli ve sağlıklı gönüllülerde bir oyun (PinchPeg) ve hareket sensöründen (Leap Motion Controller) oluşan SG tabanlı 9-DÇT'nin değerlendirildiği ilk araştırma olması güçlü yanlarıdır. Limitasyonlardan ilki, Becure™ oyun ve hareket sensöründen oluşan SG tabanlı sisteme ait ve test sürecini etkileyebilecek bazı teknik sorunların olmasıdır. Bunlara örnek olarak, çubuk taşınırken aynı anda birden fazla çubuğun taşınması, aynı deliğe birden fazla çubuk sokulabilmesi ve sonrasında bu çubukları çıkaramama veya test sırasında ekranda izlenen harekette donmalar verilebilir. Güncel bilgilerimize göre Ultraleap firması ilk versiyondaki eksiklikleri gidererek yakın zamanda Leap Motion Controller 2 hareket sensörünü geliştirmiştir. Bu sensörde yeni nesil el takip teknolojisi, daha yüksek çözünürlüklü kameralar, artırılmış görüş alanı ve daha iyi görüntüler elde edildiği ifade edilmektedir. Mevcut SG tabanlı sistemde yeni nesil hareket sensörü kullanılarak yapılacak ölçümün S-9DÇT'nin sonuçlarını nasıl etkileyeceği bilinmemektedir. Diğer bir limitasyon

katılımcıların SG tabanlı teste uyum sağlama sürecinin görece kısa olmasıdır. Her ne kadar testten hemen önce alıştırmaya amaçlı iki deneme yapılmış olsa da bu süre katılımcılar için SG sistemine ve teste oryantasyon açısından yeterli olmamış olabilir.



8. SONUÇ ve ÖNERİLER

Becure™ SG tabanlı 9DÇT'nin hem inmeli hem de sağlıklı grupta fiziksel teste göre geçerlilik ve güvenilirliği düşük bulunmuştur. Çalışmamızda gözlenen yüksek denek içi varyasyon, S-9DÇT'nin hem inmeli hastalarda hem de sağlıklı gönüllülerde zorlu bir test olduğunu bu nedenle öğrenme ve alıştırma için yeterli zaman verilmesinin önemini göstermektedir. Mevcut SG tabanlı 9-DÇT'nin klinik pratikte kullanılabilmesi için test süreci ve SG sisteminde uygun değişiklikler yapılarak geçerlilik ve güvenilirliğinin yeniden değerlendirilmesi uygun olacaktır. Bu amaçla gelecekte daha büyük örneklem büyüklüğü ile SG tabanlı uygulamalara karşı deneyimlerin göz önünde bulundurulacağı, bu uygulamaların uygulanabilirlik ve tolerabilitesinin test edileceği çalışmalara ihtiyaç vardır. Ayrıca fiziksel 9-DÇT için olduğu gibi S-9DÇT için de belli yaş gruplarına göre normalizasyon değerlerinin belirlenmesi gereklidir.

9. KAYNAKLAR

1. Cluster. WHONDaMH. WHO STEPS stroke manual: the WHO STEPwise approach to stroke surveillance. Geneva; 2005.
2. Rodgers H, Bosomworth H, Krebs HI, van Wijck F, Howel D, Wilson N, et al. Robot-assisted training compared with an enhanced upper limb therapy programme and with usual care for upper limb functional limitation after stroke: the RATULS three-group RCT. *Health Technol Assess.* 2020;24(54):1-232.
3. Santisteban L, Térémetz M, Bleton JP, Baron JC, Maier MA, Lindberg PG. Upper Limb Outcome Measures Used in Stroke Rehabilitation Studies: A Systematic Literature Review. *PLoS One.* 2016;11(5):e0154792.
4. Alt Murphy M, Resteghini C, Feys P, Lamers I. An overview of systematic reviews on upper extremity outcome measures after stroke. *BMC Neurol.* 2015;15:29.
5. Tüfekçi PG, H. İ.; Yilmaz, A. Virtual reality based 9 Hole Peg Test. 2018 26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU); 2018; Izmir, Turkey: IEEE; 2018. p. 1–4.
6. Demeco A, Zola L, Frizziero A, Martini C, Palumbo A, Foresti R, et al. Immersive Virtual Reality in Post-Stroke Rehabilitation: A Systematic Review. *Sensors (Basel).* 2023;23(3).
7. Sherman WR, Craig AB. *Understanding virtual reality: Interface, application, and design*: Morgan Kaufmann; 2018.
8. Tobler-Ammann BC, de Bruin ED, Fluet MC, Lambercy O, de Bie RA, Knols RH. Concurrent validity and test-retest reliability of the Virtual Peg Insertion Test to quantify upper limb function in patients with chronic stroke. *J Neuroeng Rehabil.* 2016;13:8.
9. Sacco RL, Kasner SE, Broderick JP, Caplan LR, Connors JJ, Culebras A, et al. An updated definition of stroke for the 21st century: a statement for healthcare professionals from the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke.* 2013;44(7):2064-89.

10. Global, regional, and national burden of stroke and its risk factors, 1990-2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *Lancet Neurol.* 2021;20(10):795-820.
11. Şahin N, Uysal, B. İnme: Etiyoloji, Patofizyoloji, Risk Faktörleri. In: Çetinkaya Öneş K, editor. İnme Rehabilitasyonu. 1. Ankara Dünya Tıp Kitabevi 2024. p. 1-20.
12. Reeves MJ, Bushnell CD, Howard G, Gargano JW, Duncan PW, Lynch G, et al. Sex differences in stroke: epidemiology, clinical presentation, medical care, and outcomes. *Lancet Neurol.* 2008;7(10):915-26.
13. Yu S, Su Z, Miao J, Yu Y, Zhang S, Wu J, et al. Different Types of Family History of Stroke and Stroke Risk: Results Based on 655,552 Individuals. *J Stroke Cerebrovasc Dis.* 2019;28(3):587-94.
14. Panuganti KK, Tadi P, Lui F. Transient Ischemic Attack. *StatPearls.* Treasure Island (FL): StatPearls Publishing Copyright © 2025, StatPearls Publishing LLC.; 2025.
15. Guzik A, Bushnell C. Stroke Epidemiology and Risk Factor Management. *Continuum (Minneapolis, Minn).* 2017;23(1, Cerebrovascular Disease):15-39.
16. Amin HP, Madsen TE, Bravata DM, Wira CR, Johnston SC, Ashcraft S, et al. Diagnosis, Workup, Risk Reduction of Transient Ischemic Attack in the Emergency Department Setting: A Scientific Statement From the American Heart Association. *Stroke.* 2023;54(3):e109-e21.
17. Feske SK. Ischemic Stroke. *Am J Med.* 2021;134(12):1457-64.
18. Bang OY. Intracranial atherosclerotic stroke: specific focus on the metabolic syndrome and inflammation. *Curr Atheroscler Rep.* 2006;8(4):330-6.
19. Kaymak Karataş G. İnme Rehabilitasyonu. In: Beyazova M. GKY, editor. Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon. 3. Ankara Güneş Tıp Kitabevleri; 2016. p. 2267-89.
20. Geisler T, Mengel A, Ziemann U, Poli S. Management of Embolic Stroke of Undetermined Source (ESUS). *Drugs.* 2018;78(8):823-31.

21. Ferro JM. Brain embolism - Answers to practical questions. *J Neurol*. 2003;250(2):139-47.
22. Wardlaw JM, Debette S, Jokinen H, De Leeuw FE, Pantoni L, Chabriat H, et al. ESO Guideline on covert cerebral small vessel disease. *Eur Stroke J*. 2021;6(2):Cxi-clxii.
23. Wardlaw JM, Chabriat H, de Leeuw FE, Debette S, Dichgans M, Doubal F, et al. European stroke organisation (ESO) guideline on cerebral small vessel disease, part 2, lacunar ischaemic stroke. *Eur Stroke J*. 2024;9(1):5-68.
24. Montaña A, Hanley DF, Hemphill JC, 3rd. Hemorrhagic stroke. *Handb Clin Neurol*. 2021;176:229-48.
25. Claassen J, Park S. Spontaneous subarachnoid haemorrhage. *Lancet*. 2022;400(10355):846-62.
26. van Gijn J, Kerr RS, Rinkel GJ. Subarachnoid haemorrhage. *Lancet*. 2007;369(9558):306-18.
27. Huang YY, Chen SD, Leng XY, Kuo K, Wang ZT, Cui M, et al. Post-Stroke Cognitive Impairment: Epidemiology, Risk Factors, and Management. *J Alzheimers Dis*. 2022;86(3):983-99.
28. Sexton E, McLoughlin A, Williams DJ, Merriman NA, Donnelly N, Rohde D, et al. Systematic review and meta-analysis of the prevalence of cognitive impairment no dementia in the first year post-stroke. *Eur Stroke J*. 2019;4(2):160-71.
29. Le H, Lui F, Lui MY. Aphasia. *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing Copyright © 2025, StatPearls Publishing LLC.; 2025.
30. Berthier ML. Poststroke aphasia : epidemiology, pathophysiology and treatment. *Drugs Aging*. 2005;22(2):163-82.
31. Bakheit AM, Shaw S, Carrington S, Griffiths S. The rate and extent of improvement with therapy from the different types of aphasia in the first year after stroke. *Clin Rehabil*. 2007;21(10):941-9.

32. Dilekçi E. BM. İnme Rehabilitasyonu. In: Özlü A. ZEDÖ, editor. Rehabilitasyona Güncel Yaklaşım. Ankara Akademisyen Kitabevi; 2020. p. 155-73.
33. Çevikol A. ÇA. İnme Rehabilitasyonu. In: H. O, editor. Tıbbi Rehabilitasyon. 3. İstanbul Nobel Tıp Kitabevleri; 2015. p. 419-48.
34. Langhorne P, Bernhardt J, Kwakkel G. Stroke rehabilitation. Lancet. 2011;377(9778):1693-702.
35. O'Dell MW. Stroke Rehabilitation and Motor Recovery. Continuum (Minneap Minn). 2023;29(2):605-27.
36. O'Dell MW, Lin CC, Harrison V. Stroke rehabilitation: strategies to enhance motor recovery. Annu Rev Med. 2009;60:55-68.
37. Chang WH, Kim YH. Robot-assisted Therapy in Stroke Rehabilitation. J Stroke. 2013;15(3):174-81.
38. Rajashekar D, Boyer A, Larkin-Kaiser KA, Dukelow SP. Technological Advances in Stroke Rehabilitation: Robotics and Virtual Reality. Phys Med Rehabil Clin N Am. 2024;35(2):383-98.
39. Cho JE, Yoo JS, Kim KE, Cho ST, Jang WS, Cho KH, et al. Systematic Review of Appropriate Robotic Intervention for Gait Function in Subacute Stroke Patients. Biomed Res Int. 2018;2018:4085298.
40. Balasubramanian S, Colombo R, Sterpi I, Sanguineti V, Burdet E. Robotic assessment of upper limb motor function after stroke. Am J Phys Med Rehabil. 2012;91(11 Suppl 3):S255-69.
41. Coderre AM, Zeid AA, Dukelow SP, Demmer MJ, Moore KD, Demers MJ, et al. Assessment of upper-limb sensorimotor function of subacute stroke patients using visually guided reaching. Neurorehabil Neural Repair. 2010;24(6):528-41.
42. Dukelow SP, Herter TM, Moore KD, Demers MJ, Glasgow JI, Bagg SD, et al. Quantitative assessment of limb position sense following stroke. Neurorehabil Neural Repair. 2010;24(2):178-87.

43. Scott SH, Dukelow SP. Potential of robots as next-generation technology for clinical assessment of neurological disorders and upper-limb therapy. *J Rehabil Res Dev*. 2011;48(4):335-53.
44. de-la-Torre R, Oña ED, Balaguer C, Jardón A. Robot-Aided Systems for Improving the Assessment of Upper Limb Spasticity: A Systematic Review. *Sensors (Basel)*. 2020;20(18).
45. Semrau JA, Herter TM, Scott SH, Dukelow SP. Differential loss of position sense and kinesthesia in sub-acute stroke. *Cortex*. 2019;121:414-26.
46. Gueye T, Dedkova M, Rogalewicz V, Grunerova-Lippertova M, Angerova Y. Early post-stroke rehabilitation for upper limb motor function using virtual reality and exoskeleton: equally efficient in older patients. *Neurol Neurochir Pol*. 2021;55(1):91-6.
47. Bernocchi P, Mulè C, Vanoglio F, Taveggia G, Luisa A, Scalvini S. Home-based hand rehabilitation with a robotic glove in hemiplegic patients after stroke: a pilot feasibility study. *Top Stroke Rehabil*. 2018;25(2):114-9.
48. Zhu YH, Ruan M, Yun RS, Zhong YX, Zhang YX, Wang YJ, et al. Is Leg-Driven Treadmill-Based Exoskeleton Robot Training Beneficial to Poststroke Patients: A Systematic Review and Meta-analysis. *Am J Phys Med Rehabil*. 2023;102(4):331-9.
49. Menin A, Torchelsen R, Nedel L. An Analysis of VR Technology Used in Immersive Simulations with a Serious Game Perspective. *IEEE Comput Graph Appl*. 2018;38(2):57-73.
50. Muhanna MA. Virtual reality and the CAVE: Taxonomy, interaction challenges and research directions. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*. 2015;27(3):344-61.
51. Drigas A, Sideraki A. Brain Neuroplasticity Leveraging Virtual Reality and Brain-Computer Interface Technologies. *Sensors (Basel)*. 2024;24(17).
52. Leeb R, Pérez-Marcos D. Brain-computer interfaces and virtual reality for neurorehabilitation. *Handb Clin Neurol*. 2020;168:183-97.

53. Kim WS, Cho S, Ku J, Kim Y, Lee K, Hwang HJ, et al. Clinical Application of Virtual Reality for Upper Limb Motor Rehabilitation in Stroke: Review of Technologies and Clinical Evidence. *J Clin Med*. 2020;9(10).
54. Hallman-Cooper JL, Rocha Cabrero F. Cerebral Palsy. StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing

Copyright © 2025, StatPearls Publishing LLC.; 2025.

55. Fandim JV, Saragiotto BT, Porfírio GJM, Santana RF. Effectiveness of virtual reality in children and young adults with cerebral palsy: a systematic review of randomized controlled trial. *Braz J Phys Ther*. 2021;25(4):369-86.
56. Tafti D, Ehsan M, Xixis KL. Multiple Sclerosis. StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing

Copyright © 2025, StatPearls Publishing LLC.; 2025.

57. De Keersmaecker E, Guida S, Denissen S, Dewolf L, Nagels G, Jansen B, et al. Virtual reality for multiple sclerosis rehabilitation. *Cochrane Database Syst Rev*. 2025;1(1):Cd013834.
58. Zaragoza-Mezquita M, Felix-Esbrí S, Sebastián-Tirado A, Guinot P, Melero C, Forn C, et al. Exploring the Potential of Immersive Virtual Reality (VR) as a tool to enhance cognitive functions and alleviate clinical symptoms in Multiple Sclerosis (MS): Enhancing Cognitive Functions in Multiple Sclerosis Using Virtual Reality. *Mult Scler Relat Disord*. 2025;93:106235.
59. Kouli A, Torsney KM, Kuan WL. Parkinson's Disease: Etiology, Neuropathology, and Pathogenesis. In: Stoker TB, Greenland JC, editors. *Parkinson's Disease: Pathogenesis and Clinical Aspects*. Brisbane (AU): Codon Publications

Copyright: The Authors.; 2018.

60. Pazzaglia C, Imbimbo I, Tranchita E, Minganti C, Ricciardi D, Lo Monaco R, et al. Comparison of virtual reality rehabilitation and conventional rehabilitation in Parkinson's disease: a randomised controlled trial. *Physiotherapy*. 2020;106:36-42.

61. Levac DE, Huber ME, Sternad D. Learning and transfer of complex motor skills in virtual reality: a perspective review. *J Neuroeng Rehabil*. 2019;16(1):121.
62. Wu J, Zeng A, Chen Z, Wei Y, Huang K, Chen J, et al. Effects of Virtual Reality Training on Upper Limb Function and Balance in Stroke Patients: Systematic Review and Meta-Meta-Analysis. *J Med Internet Res*. 2021;23(10):e31051.
63. Chen J, Or CK, Chen T. Effectiveness of Using Virtual Reality-Supported Exercise Therapy for Upper Extremity Motor Rehabilitation in Patients With Stroke: Systematic Review and Meta-analysis of Randomized Controlled Trials. *J Med Internet Res*. 2022;24(6):e24111.
64. Gustavsson M, Kjörk EK, Erhardsson M, Alt Murphy M. Virtual reality gaming in rehabilitation after stroke - user experiences and perceptions. *Disabil Rehabil*. 2022;44(22):6759-65.
65. Oman CM. Motion sickness: a synthesis and evaluation of the sensory conflict theory. *Can J Physiol Pharmacol*. 1990;68(2):294-303.
66. Viau A, Feldman AG, McFadyen BJ, Levin MF. Reaching in reality and virtual reality: a comparison of movement kinematics in healthy subjects and in adults with hemiparesis. *J Neuroeng Rehabil*. 2004;1(1):11.
67. Hussain N, Alt Murphy M, Sunnerhagen KS. Upper Limb Kinematics in Stroke and Healthy Controls Using Target-to-Target Task in Virtual Reality. *Front Neurol*. 2018;9:300.
68. Magdalon EC, Michaelsen SM, Quevedo AA, Levin MF. Comparison of grasping movements made by healthy subjects in a 3-dimensional immersive virtual versus physical environment. *Acta Psychol (Amst)*. 2011;138(1):126-34.
69. Levin MF, Magdalon EC, Michaelsen SM, Quevedo AA. Quality of Grasping and the Role of Haptics in a 3-D Immersive Virtual Reality Environment in Individuals With Stroke. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*. 2015;23(6):1047-55.

70. Rose FD, Attree EA, Brooks BM, Parslow DM, Penn PR. Training in virtual environments: transfer to real world tasks and equivalence to real task training. *Ergonomics*. 2000;43(4):494-511.
71. Levac DE, Jovanovic BB, editors. Is children's motor learning of a postural reaching task enhanced by practice in a virtual environment? 2017 International Conference on Virtual Rehabilitation (ICVR); 2017: IEEE.
72. Anglin J, Saldana D, Schmiesing A, Liew S-L, editors. Transfer of a skilled motor learning task between virtual and conventional environments. 2017 IEEE Virtual Reality (VR); 2017: IEEE.
73. Massetti T, Fávero FM, Menezes LDCd, Alvarez MPB, Crocetta TB, Guarnieri R, et al. Achievement of virtual and real objects using a short-term motor learning protocol in people with duchenne muscular dystrophy: a crossover randomized controlled trial. *Games for health journal*. 2018;7(2):107-15.
74. de Mello Monteiro CB, Massetti T, da Silva TD, van der Kamp J, de Abreu LC, Leone C, et al. Transfer of motor learning from virtual to natural environments in individuals with cerebral palsy. *Research in developmental disabilities*. 2014;35(10):2430-7.
75. Ranganathan R, Wieser J, Mosier KM, Mussa-Ivaldi FA, Scheidt RA. Learning redundant motor tasks with and without overlapping dimensions: facilitation and interference effects. *J Neurosci*. 2014;34(24):8289-99.
76. Glegg SMN, Levac DE. Barriers, Facilitators and Interventions to Support Virtual Reality Implementation in Rehabilitation: A Scoping Review. *Pm r*. 2018;10(11):1237-51.e1.
77. Levac D, Glegg S, Colquhoun H, Miller P, Noubary F. Virtual Reality and Active Videogame-Based Practice, Learning Needs, and Preferences: A Cross-Canada Survey of Physical Therapists and Occupational Therapists. *Games Health J*. 2017;6(4):217-28.
78. Jørgensen HS, Nakayama H, Raaschou HO, Olsen TS. Stroke. Neurologic and functional recovery the Copenhagen Stroke Study. *Phys Med Rehabil Clin N Am*. 1999;10(4):887-906.

79. Fugl-Meyer AR, Jääskö L, Leyman I, Olsson S, Steglind S. The post-stroke hemiplegic patient. 1. a method for evaluation of physical performance. *Scand J Rehabil Med.* 1975;7(1):13-31.
80. Singer B, Garcia-Vega J. The Fugl-Meyer upper extremity scale. *Journal of physiotherapy.* 2017;63(1):53.
81. Uswatte G, Taub E, Morris D, Light K, Thompson PA. The Motor Activity Log-28: assessing daily use of the hemiparetic arm after stroke. *Neurology.* 2006;67(7):1189-94.
82. Uswatte G, Taub E, Morris D, Vignolo M, McCulloch K. Reliability and validity of the upper-extremity Motor Activity Log-14 for measuring real-world arm use. *Stroke.* 2005;36(11):2493-6.
83. Wolf SL, Catlin PA, Ellis M, Archer AL, Morgan B, Piacentino A. Assessing Wolf motor function test as outcome measure for research in patients after stroke. *Stroke.* 2001;32(7):1635-9.
84. Wolf SL, Lecraw DE, Barton LA, Jann BB. Forced use of hemiplegic upper extremities to reverse the effect of learned nonuse among chronic stroke and head-injured patients. *Exp Neurol.* 1989;104(2):125-32.
85. Lyle RC. A performance test for assessment of upper limb function in physical rehabilitation treatment and research. *Int J Rehabil Res.* 1981;4(4):483-92.
86. Yozbatiran N, Der-Yeghiaian L, Cramer SC. A standardized approach to performing the action research arm test. *Neurorehabil Neural Repair.* 2008;22(1):78-90.
87. Carr JH, Shepherd RB, Nordholm L, Lynne D. Investigation of a new motor assessment scale for stroke patients. *Phys Ther.* 1985;65(2):175-80.
88. Mathiowetz V, Volland G, Kashman N, Weber K. Adult norms for the Box and Block Test of manual dexterity. *Am J Occup Ther.* 1985;39(6):386-91.
89. Prochaska E, Ammenwerth E. A Digital Box and Block Test for Hand Dexterity Measurement: Instrument Validation Study. *JMIR Rehabil Assist Technol.* 2023;10:e50474.

90. Barreca SR, Stratford PW, Lambert CL, Masters LM, Streiner DL. Test-retest reliability, validity, and sensitivity of the Chedoke arm and hand activity inventory: a new measure of upper-limb function for survivors of stroke. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 2005;86(8):1616-22.
91. Penta M, Thonnard JL, Tesio L. ABILHAND: a Rasch-built measure of manual ability. *Arch Phys Med Rehabil*. 1998;79(9):1038-42.
92. Kellor M, Frost J, Silberberg N, Iversen I, Cummings R. Hand strength and dexterity. *Am J Occup Ther*. 1971;25(2):77-83.
93. Mathiowetz V, Weber K, Kashman N, Volland G. Adult norms for the nine hole peg test of finger dexterity. *The Occupational Therapy Journal of Research*. 1985;5(1):24-38.
94. Smith YA, Hong E, Presson C. Normative and validation studies of the Nine-hole Peg Test with children. *Percept Mot Skills*. 2000;90(3 Pt 1):823-43.
95. Chen HM, Chen CC, Hsueh IP, Huang SL, Hsieh CL. Test-retest reproducibility and smallest real difference of 5 hand function tests in patients with stroke. *Neurorehabil Neural Repair*. 2009;23(5):435-40.
96. Hervault M, Balto JM, Hubbard EA, Motl RW. Reliability, precision, and clinically important change of the Nine-Hole Peg Test in individuals with multiple sclerosis. *Int J Rehabil Res*. 2017;40(1):91-3.
97. Feys P, Lamers I, Francis G, Benedict R, Phillips G, LaRocca N, et al. The Nine-Hole Peg Test as a manual dexterity performance measure for multiple sclerosis. *Mult Scler*. 2017;23(5):711-20.
98. Cutellè C, Rastelli E, Gibellini M, Greco G, Frezza E, Botta A, et al. Validation of the Nine Hole Peg Test as a measure of dexterity in myotonic dystrophy type 1. *Neuromuscul Disord*. 2018;28(11):947-51.
99. Mendoza-Sánchez S, Molina-Rueda F, Florencio LL, Carratalá-Tejada M, Cuesta-Gómez A. Reliability and agreement of the Nine Hole Peg Test in patients with unilateral spastic cerebral palsy. *Eur J Pediatr*. 2022;181(6):2283-90.

100. Xydas E.G. LL. Design and Development of a Tactile Peg-Board Exercise for the Rehabilitation of Persons with Multiple Sclerosis. 2007 IEEE 10th International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR); Noordwijk, Netherlands: IEEE; 2007. p. 906–16.
101. Meta. Meta Quest: Meta hesabı oluşturma veya Meta hesabına geçiş yapma 2025 [Available from: <https://www.meta.com/tr-tr/help/quest/526118881723537/>].
102. Park W, Jamil MH, Wasti S, Eid M, editors. Immersive virtual reality simulation of the Nine-Hole Peg Test for post-stroke patients. International Conference on Human-Computer Interaction; 2023: Springer.
103. Sawner KAL, Jeanne M.; Brunnstrom, Signe. Brunnstrom's Movement Therapy in Hemiplegia: A Neurophysiological Approach. 2nd ed. ed. Philadelphia: Lippincott; 1992.
104. Brunnstrom S. Movement Therapy in Hemiplegia: A Neurophysiological Approach New York Harper & Row 1970
105. Bohannon RW, Smith MB. Interrater reliability of a modified Ashworth scale of muscle spasticity. Phys Ther. 1987;67(2):206-7.
106. Ashworth B. PRELIMINARY TRIAL OF CARISOPRODOL IN MULTIPLE SCLEROSIS. Practitioner. 1964;192:540-2.
107. Elhan AH, Kutlay S, Küçükdeveci AA, Cotuk C, Oztürk G, Tesio L, et al. Psychometric properties of the Mini-Mental State Examination in patients with acquired brain injury in Turkey. J Rehabil Med. 2005;37(5):306-11.
108. Ultraleap. Leap Motion Controller 2 2023 [Available from: <https://www.ultraleap.com/products/leap-motion-controller-2/>].
109. Ekstrand E, Lexell J, Brogårdh C. Test-Retest Reliability and Convergent Validity of Three Manual Dexterity Measures in Persons With Chronic Stroke. Pm r. 2016;8(10):935-43.
110. Cho S, Kim WS, Paik NJ, Bang H. Upper-Limb Function Assessment Using VBBTs for Stroke Patients. IEEE Comput Graph Appl. 2016;36(1):70-8.

111. Bowler M, Amirabdollahian F, Dautenhahn K. Using an embedded reality approach to improve test reliability for NHPT tasks. *IEEE Int Conf Rehabil Robot.* 2011;2011:5975343.
112. Wang YC, Bohannon RW, Kapellusch J, Garg A, Gershon RC. Dexterity as measured with the 9-Hole Peg Test (9-HPT) across the age span. *J Hand Ther.* 2015;28(1):53-9; quiz 60.
113. Lee J, Kim H, Kim J, Lee HJ, Chang WH, Kim YH. Differential early predictive factors for upper and lower extremity motor recovery after ischaemic stroke. *Eur J Neurol.* 2021;28(1):132-40.
114. Escaldi SV, Cuccurullo SJ, Terzella M, Petagna AM, Strax TE. Assessing competency in spasticity management: a method of development and assessment. *Am J Phys Med Rehabil.* 2012;91(3):243-53.
115. Rivelis Y, Zafar N, Morice K. Spasticity. *StatPearls.* Treasure Island (FL): StatPearls Publishing Copyright © 2025, StatPearls Publishing LLC.; 2025.
116. Sommerfeld DK, Eek EU, Svensson AK, Holmqvist LW, von Arbin MH. Spasticity after stroke: its occurrence and association with motor impairments and activity limitations. *Stroke.* 2004;35(1):134-9.

9. EKLER

EK-1: Gönüllü Takip Formu

HASTA TAKİP FORMU

Adı-Soyad:

Tarih:

Yaş:

Protokol numarası:

Cinsiyet:

Medeni Durum:

Meslek:

Eğitim:

Adres/ Telefon:

Özgeçmiş :

Geçirilmiş inme öyküsü :

Ek hastalıklar :

Geçirilmiş ameliyatlar :

Kullandığı ilaçlar :

Sigara/Alkol :

Olay Tarihi:

Lezyon tipi :

İskemik : ☐

Hemorajik : ☐

Etkilenen vücut yarısı :

Dominant el :

FİZİK MUAYENE

Bilinç, oryantasyon-kooperasyon : _____

Konuşma : _____

Minimental durum muayenesi : _____

Brunnstrom Motor Evrelemesi:

Üst ekstremité : _____

El : _____

Alt ekstremité : _____

Modifiye Ashworth Skalası:

Dirsek fleksiyonu/ekstansiyonu : _____

Ön kol pronasyonu/supinasyonu : _____

El bileği fleksiyonu/ekstansiyonu : _____

El parmakları fleksiyonu/ekstansiyonu : _____

Oturma dengesi : _____

Araştırmaya dahil olma kriterleri:

- 1- Dünya Sağlık Örgütü tanımına göre inme teşhisi almak..... ☐
- 2- 18 yaşından büyük olmak..... ☐
- 3- Brunnstrom motor evrelemesine göre üst ekstremitenin evre 3 ve üzerinde olması.
..... ☐
- 4- Kognitif olarak yeterli olmak (verbal komut anlayıp uygulayabilir
olmak)..... ☐
- 5- Oturma dengesinin olması ☐
- 6- Hasta veya yakınlarının bilgilendirilmiş gönüllü onam formunu doldurmuş olması ☐

Araştırmaya dahil olmama kriterleri:

- 1- Etkilenen üst ekstremitede değerlendirmeyi engelleyecek artrit veya ağrı
olması..... ☐
- 2- Ciddi afazi varlığı ☐
- 3- Kognitif bozukluk veya psikiyatrik bozuklukların olması..... ☐
- 4- İhmal fenomeni (neglect) tespit edilmesi ☐
- 5- Hemianopsi varlığı ☐
- 6- Etkilenen kolda spastisitenin MAS'na göre 3 ve üzerinde olması..... ☐

|

Araştırmaya dahil edilme kriterlerini karşılayan hastalarda, klinik değerlendirilmelerin yapılması amacıyla bir sonraki sayfaya geçilecektir. Kriterleri karşılamayan hastalarda formu daha ilerisine geçilmeyecektir.

KLİNİK DEĞERLENDİRMELER

Mini Mental Durum Değerlendirme Testi Puanı	
---	--

Gönüllü Türü	Araştırmacı tarafından yapılan fiziksel 9 delikli çubuk testi sonucu (sn)	Becure™ Sanal gerçeklik tabanlı 9 delikli çubuk testi ile yapılan ilk test sonucu (sn)	Becure™ Sanal gerçeklik tabanlı 9 delikli çubuk testi ile yapılan ikinci test sonucu (sn)
Sağlıklı gönüllü			
Dominant el			
Non-dominant el			
İnmeli gönüllü			
Hemiplejik taraf			
Sağlam Taraf			

EK-2 Mini Mental Test Değerlendirme Formu

YÖNELİM

- Yıl, ay, gün, günün adı, mevsim: /5
- Ülke, şehir, bölge, hastane, servis: /5
-

KAYIT ETME:

- Elma, masa, para /3

(hasta bunları öğrenene kadar 3 kere tekrar ettirilir)

DİKKAT VE HESAPLAMA:

İki test de uygulanır, yüksek olan puan skorlanır

- 100'den 7 eksilterek sayma /5

Cevap: 93, 86, 79, 72, 65 (her biri bir puan)

- “DÜNYA” tersten harf söyleme /5

Cevap: A, Y, N, U, D (her biri bir puan)

HATIRLAMA:

- Daha önce bahsedilen 3 ögenin hatırlanması istenir.

Elma, masa, para /3

DİL:

- İsimlendirme: kalem ve saat gösterilerek hastanın isimlendirmesi istenir.

Kalem, saat: /2

- Tekrarlama: aşağıdaki cümlelerin tekrarlanması istenir.

Eğerler, veler veya amalar yok /1

- Üç aşamalı bir emir verilir, her aşama 1 puan olarak skorlanır.

Bu kâğıdı sağ elinize alın, ortadan katlatın, kucağınıza koyun

/3

- “Gözlerini kapat” yazan kâğıt okutulur, yazanı yapması istenir.

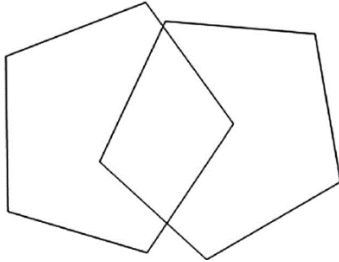
Burada yazanı okuyun, ne diyorsa aynen yapın /1

- Öznesi, yüklemi olan anlamlı bir cümle yazma:

Anlamlı bir cümle kurup bu kâğıda yazın /1

- Şekil kopyalama: Kesişen iki beşgen

Burada gördüğünüzü aynen kopyalayın /1



Toplam puan:

/30

EK-3. Brunnstrom Motor Evrelemesi

Üst Ekstremité Motor Evrelemesi

- Evre 1 Tutulan kolda hiçbir hareket yoktur. Kol ağır, kas tonusu tümüyle gevşektir. Kol sinerji paternlerinde hareket ettirildiğinde, pasif harekete direnç yok veya azdır. Bu devrede hasta yatağa bağımlıdır ve uzun değerlendirmelerden yorulur.
- Evre 2 İstemli harekete başlama çabasıyla veya assosiyé reaksiyonlarla beraber sinerji paternleri veya onların bazı komponentleri belirir. Fleksör sinerji daha önce ortaya çıkar. Kol ekstansör ve fleksör sinerji paternlerinde alternatifli olarak pasif hareket ettirilirken hastanın aktif katılımı istenir. Spastisite gelişmeye başlar.
- Evre 3 Spastisite belirgindir. Hareket sinerjilerinde istemli kontrol başlar. Sinerji tümüyle tamamlanmayabilir. İyileşme sürecinde bu evre hastanın kısmi istemli hareket çıkardığı evre olarak kabul edilir çünkü hasta paretik tarafında hareketi başlatır, ancak oluşan hareketin tipini kontrol edemez.
- Evre 4 Hareket sinerjilerinden farklı izole hareketler yavaş yavaş çıkar ve giderek belirginleşir. Spastisite azalır ancak izole hareketler üzerinde spastisitenin etkisi sürmektedir. Gözlenen izole hareketler:
- a. Elin vücudun arkasına, sakral bölgeye değdirilmesi
 - b. Dirsek ekstansiyonda iken omuzun 90 derece fleksiyonu
 - c. Dirsek 90 derece fleksiyonda ve kol vücuda yakın iken supinasyon ve pronasyon yapmasıdır.
- Evre 5 Spastisite azalmaya devam etmektedir. İyileşme devam ederse, motor hareketler üzerinde sinerjilerin etkisi azalırken daha zor izole hareketler ortaya çıkar. Gözlenen izole hareketler:
- a. Dirsek ekstansiyonda, ön kol pronasyonda ve omuz 90 derece abdüksiyonda iken kol yukarı kaldırılır,
 - b. Dirsek ekstansiyonda iken omuz 90 dereceden fazla fleksiyon yapabilir,
 - c. Dirsek ekstansiyonda, omuz 90 derece fleksiyonda iken pronasyon ve supinasyon yapabilir.
- Evre 6 İzole eklem hareketlerinde koordinasyon başlar. Spastisite kayboldukça hareketleri tüm sınırları boyunca tamamlamaya başlar.
- Evre 7 Normal motor fonksiyon kazanılmıştır.

Alt Ekstremité Motor Evrelemesi

- Evre 1 Tutulan bacakta hiçbir hareket yoktur. Bacak tümüyle gevşektir.
- Evre 2 Minimal istemli hareket mevcuttur.
- Evre 3 Otururken ve ayakta kalça, diz, ayak bileği fleksiyonu istemli olarak yapılabilir. Spastisite en yüksek noktadadır.
- Evre 4 Otururken ayağını arkaya koyarak 90 dereceyi aşan diz fleksiyonu yapabilir. Topuğu yerden kaldırmadan ayak bileği dorsifleksiyonu yapabilir.
- Evre 5 Ayakta o bacağı ağırlık vermeden izole diz fleksiyonu ile birlikte kalça ekstansiyonu, kalça ve diz ekstansiyonu ile izole ayak bileği dorsifleksiyonu yapabilir.
- Evre 6 Otururken veya ayakta dururken kalça abdüksiyonu, otururken ayak bileği inversiyonu ve eversiyonu ile beraber dizin resiprokal içe ve dışa rotasyonunu başarabilir.
- Evre 7 Normal motor fonksiyon kazanılmıştır.

Elin Motor İyileşme Evrelemesi

- Evre 1 El flastır. İstemli motor aktivite yoktur.
- Evre 2 Parmaklarda hafif fleksiyon hareketi başlamıştır.
- Evre 3 Elde kaba ve çengel kavrama başlamıştır, ancak istemli parmak ekstansiyonu ve gevşeme olmaz. Ara ara parmaklarda refleks ekstansiyon hareketi görülebilir.
- Evre 4 Başparmak hareketleri ile lateral kavrama başlamıştır. Küçük açılarda kısmen istemli kabul edilebilecek parmak ekstansiyonu görülür.
- Evre 5 Tam istemli ve kontrollü olmamakla birlikte silindirik ya da sferik parmak kavramaları başlamıştır. Değişik açılarda istemli parmak ekstansiyonu izlenir.
- Evre 6 Tüm kavramalarda kontrol kazanılır, parmaklarda tam ekstansiyon yapılabilir, normale yakın ele nazaran beceriler sınırlı olabilir.
- Evre 7 Normal motor fonksiyon kazanılmıştır.

