



대한물리치료과학회지

Journal of Korean Physical Therapy Science
2026. 03. Vol. 33, No.1 pp. 75-89

아급성기 뇌졸중 환자의 8자 모양 경로 보행 검사의 신뢰도와 집중타당도

이준민¹ · 박동민² · 양성필¹ · 박혜린¹ · 안승현¹

¹국립재활원 보행랩 · ²제니스병원 물리치료실

The reliability and convergent validity of the figure-of-8-walk test in patients with subacute stroke

Jun Min Lee¹, Ph.D., P.T · Dong Min Park², Bsc, PT · Sung Phil, Yang¹, B.Sc, P.T · Hye Rin Park¹, B.Sc, P.T · Seung Heun An¹, Ph.D., P.T

¹Dept. of Gait Lab, National Rehabilitation Center · ²Dept. of physical therapy, Zenith Hospital

Abstract

Background: This study was designed to evaluate psychometric properties of the Figure-of-8 Walk Test(F8WT) in individuals with stroke, including inter-rater and test-retest reliability, minimal detectable change(MDC), MDC percentage(MDC%), standard error of measurement(SEM), limits of agreement, and convergent validity.

Design: A cross-sectional study was conducted with 25 participants diagnosed with stroke.

Methods: Inter-rater and test-retest reliability of the F8WT were evaluated using intraclass correlation coefficients(ICC). Measurement error was assessed via SEM, MDC, MDC%, and Bland-Altman plots. Convergent validity was examined by analyzing the Spearman correlation coefficients between F8WT performance and established functional measures, including the Five Times Sit-to-StandTest(FTSTS), Berg Balance Scale(BBS), Fugl-Meyer Assessment of Lower Extremity(FMA-L/E), 10-Meter Walk Test (10mWT), Timed Up and Go Test(TUG), and Modified Four Square Step Test(mFSST).

Results: The F8WT demonstrated excellent reliability, with inter-rater ICC of 0.987(95% CI: 0.971-0.994) and test-retest ICC of 0.990(95% CI: 0.978-

0.998). The MDC ranged from 4.29 to 5.07 seconds, indicating an acceptable level of measurement error. F8WT performance showed strong and significant correlations with all functional assessments, particularly TUG($r=0.878$) and mFSST($r=0.823$), supporting its convergent validity(all $p<0.001$).

Conclusion: The F8WT demonstrated excellent inter-rater and test-retest reliability and acceptable measurement error. Its strong associations with functional balance, strength, mobility, and gait-related measures support its utility as a simple, reliable, and responsive tool for evaluating advanced walking ability and functional recovery in stroke rehabilitation.

Key words: Balance, Figure of 8 walk test, Stroke, Turning, Walking

교신저자

안승현

서울특별시 강북구 삼각산로 58

T: 02-901-1408 E: ptlove1@hanmail.net

1. 서론

뇌졸중 후 보행 기능 저하는 흔한 문제이며, 보행 능력 회복은 재활치료의 핵심 목표 중 하나이다(Bohannon 등, 1991). 임상에서는 일반적으로 직선 경로(예: 5~14m)를 기준으로 보행 훈련 및 평가가 이루어지며, 보행 속도나 도달 시간 측정 방식이 주로 사용된다. 그러나 실제 일상에서는 테이블을 돌아 걷기, 장애물 피하기, 거리에서 방향 전환하기 등 다양한 상황이 포함되며, 이 과정에서 곡선 보행과 방향 전환 능력이 필수적이다(Courtine과 Schieppati, 2003).

특히 곡선 경로 보행은 직선 보행보다 더 높은 수준의 균형 조절 능력을 요구하며, 특히 측방 방향(mediolateral direction)의 안정성이 중요하다(Pollock 등, 2011). 곡선을 따라 걷기 위해서는 신체의 무게중심을 회전시키고, 몸의 방향을 곡선에 맞게 재정렬하는 과정이 필요하다(Courtine 등, 2003). 건강한 성인은 이러한 움직임을 수행하기 위해 몸통의 롤링(trunk roll) 동작과 함께, 내·외측 하지의 보폭과 보장을 조절하는 전략을 사용한다(Courtine 등, 2003). 또한 직선 보행은 대칭적인 발 디딤을 필요로 하지만, 곡선 보행은 비대칭적인 발 디딤을 요구하는 등 서로 다른 운동 패턴을 가진다(Lowry 등, 2012; Welch 등, 2016). 실제로 곡선 경로에서는 무게중심이 내측 하지로 이동하고, 입각 시간이 증가하는 반면 외측 하지에서는 보장이 길어지는 경향이 나타난다(Hicheur 등, 2005). 이러한 곡선 보행에 대한 적응은 이동 기능에 제한이 있는 뇌졸중 환자에게 특히 어렵고 도전적인 과제이다(Hess 등, 2010). 따라서 재활 과정에서 환자의 고차원적인 보행 능력 변화를 정확히 반영하기 위해서는, 직선과 곡선 경로를 모두 포함한 포괄적이고 신뢰성 있는 보행 평가 도구가 필요하다.

임상에서 뇌졸중 환자의 보행 능력을 측정하기 위한 대표적인 평가 도구들로 10m 보행검사(10meter walk test, 10mWT)(Salbach 등, 2017), 일어나 걸어가기 검사(Timed up & go test, TUG)(Podsiadlo과 Richardson, 1991), 6분 보행검사(6Minute walk test, 6MWT)(Cheng 등, 2020)가 있다. 그러나 이러한 모든 평가는 대부분 직선 경로에서의 보행이나 단일한 180° 방향 전환 동작에만 국한되어 있어, 곡선 보행과 관련된 능력을 충분히 반영하지 못한다. Hess 등(2010)은 시계 방향과 반시계 방향의 회전을 포함한 8자 모양의 경로 보행 검사(Figure-of-8-Walk Test, F8WT)를 개발하였다. 이 검사는 직선과 곡선 경로를 반복적으로 전환하며 걷도록 설계되어, 단순한 보행 능력뿐 아니라 생체역학적 조절, 인지적 유연성, 그리고 세트 전환(set-shifting)과 같은 고차원적인 인지 기능까지 함께 평가할 수 있다(Lowry 등, 2012; Welch 등, 2016). 이처럼 경로를 바꾸며 걷는 과정에서는 보행의 방향과 형태에 따라 몸의 움직임 전략과 생체역학적 조절 방식도 함께 전환되어야 하며, 다양한 운동 전략 간 전환 능력이 중요한 평가 요소로 작용한다(Hess 등, 2010). F8WT는 노인, 다발성 경화증, 파킨슨씨 병, 슬관절 전치환술 환자, 만성 뇌졸중 환자 등 다양한 신경계 질환자들을 대상으로 우수한 신뢰도와 타당성이 보고된 바 있다(Hesse 등, 2010; Wong 등, 2013; Kirmaci 등, 2023; Soke 등, 2022; Soke 등, 2023; Barker 등, 2019).

국내 연구로는 F8WT의 신뢰도 및 타당도를 검증(김양호와 임재현, 2012; 김중휘와 박지원, 2012; 박창식, 2017)과 F8WT를 활용한 균형 및 보행 중재 훈련(김미간 등, 2012) 등이 보고된 바 있다. 그러나 현재까지 발표된 국내외 연구들은 F8WT를 만성 뇌졸중 환자에게만 적용하고 있으며, 아급성기 환자에 대한 적용 가능성은 검토되지 않았다.

아급성기 뇌졸중 환자는 회복 초기 단계에 있으며, 신체 기능의 제한, 미숙한 보상 전략, 운동 기능의 높은 변동성 등으로 인해 만성기 환자와는 뚜렷한 차이를 보인다(Lee와 Kim, 2024; Jung, 2017). 이러한 특성은 기능 수준에 적합하면서도 신뢰성 있는 평가 도구의 필요성을 강조한다. F8WT는 만성 뇌졸중 환자의 기능적 수행 능력과 동적 균형 평가에 신뢰성과 타당성이 입증된 도구로 알려져 있으나, 아급성기 환자에게는 균형 유지 및 동작 조절의 어려움, 보상 전략 학습의 진행 단계 등으로 인해 적용이 쉽지 않다(Jung, 2017). 그럼에도 불구하고 F8WT는 아급성기 환자의 기능적 상태를 반영하고 치료 효과를 모니터링하는 데 유용한 가능성을 지닌다.

그러나 하지만 아급성기 뇌졸중 환자에게 F8WT를 적용한 연구에서 검사의 신뢰성과 타당성을 종합적으로 검토한 사례는 아직 부족하다. 임상 평가 도구가 특정 환자군에 효과적으로 적용되기 위해서는 변화를 감지할 수 있는 민감도와 함께 신뢰도 및 타당도의 충분한 검증이 선행되어야 한다. F8WT는 아급성기 환자에게 도전적인 평가 도구가 될 수 있으나, 동시에 치료 반응성과 이동성·균형 능력의 변화를 평가할 수 있는 유용한 도구로 고려될 수 있다. 따라서 본 연구는 첫째, 아급성기 뇌졸중 환자군에서 F8WT의 측정자 간과 검사-재검사 신뢰도를 분석하고 둘째, 측정의 표준 오차(Standard error of measurement), 최소 감지 변화(Minimal Detectable Change, MDC) 및 MDC(%)를 조사하며, 셋째, F8WT와 뇌졸중 특이적 기능수행 평가 간의 관련성을 분석하여 집중 타당도를 검증하는 것이다. 이를 통해 아급성기 뇌졸중 환자에서 F8WT가 기능 수행과 동적 균형을 평가하는 임상적 도구로서 적절한지를 확인하여 임상적 타당성을 확인하고자 하였다.

II. 연구방법

1. 연구대상

본 연구의 참여자는 뇌졸중 발병 후 편마비 진단을 받은 피험자로, ○○병원에서 입원하여 재활 중인 환자들을 대상으로 하였다. 본 연구의 모든 참여자는 실험에 참여하기 전에 앞서 연구의 목적과 절차에 대해 충분한 설명을 들었으며, 자발적으로 참여에 동의한 대상자만을 포함하였다. 연구 대상자의 선정 기준은 다음과 같다. 첫째, 한글판 간이 정신 검사(K-MMSE)에서 24점 이상인 자(박동민과 안승현, 2025; Son과 Park, 2019), 둘째, 뇌졸중 발병 후 1개월 이상 6개월 미만인 아급성기 뇌졸중 환자로 연령이 70세 미만 인자(김은주 등, 2024; 김은주 등, 2025), 셋째, 보행 보조 기구 사용 여부에 관계 없이 10m 이상 독립보행이 가능한 자(Mong 등, 2010), 제외기준은 첫째, 검사 수행에 영향을 미칠 수 있는 심각한 사·지각과 균형 장애가 있는 자(Son 등, 2019), 둘째, 하지의 정형외과적 질환으로 인해 기능수행 평가가 불가능한 자(Son 등, 2019; Wong 등, 2013), 셋째, 이차 발병 또는 양측 편마비 환자는 제외하였다(김은주 등, 2025; 박동민 등, 2025).

표본 수는 이전 만성 뇌졸중 환자(n=35)를 대상으로 한 F8WT의 측정자 내·간과 검사-재검사 신뢰도(ICC=0.989~0.990)가 우수한 것으로 보고되었다(Wong 등, 2013). 이에 본 연구에서는 뇌졸중 환자의 신뢰도를 보수적으로 산정하여, ICC=0.90을 기준으로 설정하였다. G*Power(version 3.1.9.7; Franz Faul, University of Kiel, Germany)를 이용한 분석에서, $\alpha=0.05$ 조건하에 ICC 0.90을 탐지하면서 power 0.80을 만족시키기 위해서는 개인당 두 차례 관측을 수행하는 경우 표본수는 25명으로 산출되었다. 연구 과정에서 탈락률 20%를 고려하여 29명을 모집하였으나, 최종적으로 응급퇴원 2명, 미참여 2명으로 총 25명의 자료를 이용하였다.

2. 연구절차

본 연구는 단면적 교차분석 연구(cross-sectional study)로 설계되었으며, 참가자의 일반적인 특성에 대한 자료를 수집하였다. 수집 항목에는 성별, 연령, 유병 기간, 진단명, 마비 측 부위, 간이 정신 상태 검사 점수(Mini-Mental State Examination, MMSE), 마비 측 발바닥 굽힘근 경직 여부, 그리고 일상적으로 사용하는 보행 보조기구의 종류 등이 포함되었다. 기능수행 평가는 신경계 물리치료 영역에서 임상 경력 20년 이상의 물리치료사 4명이 실시하였다. 이들은 연구 주제와 사용된 평가도구에 대해 충분히 숙지하고 있었으며, 정확한 평가 수행이 가능한 전문가로 선정하였다. 본 연구에서는 평가 결과의 신뢰성을 확보하기 위해 검사 기준과 절차에 대한 사전 교육과 훈련을 철저히 시행하였으며, 모든 평가가 일관되게 이루어지도록 관리하였다.

시작 전, 모든 평가자는 F8WT의 기준과 절차에 대해 교육과 훈련을 받았으며, 평가 과정이 일관되고 표준화된 방식

으로 이루어지도록 철저히 관리하였다. 이를 통해 평가 결과의 신뢰성을 높이고 측정 오류를 최소화하였다. 측정자 간 신뢰도(ICC2,1)는 학습에 따른 영향과 평가자 간 오차를 줄이기 위해, 동일한 세션 내에서 최소 3명의 환자를 대상으로 두 명의 평가자(A, B)가 2에서 3일 간격으로 각각 독립적으로 수행을 평가하되, 동시에 관찰하는 방식으로 산출하였다. 평가 결과는 상호 공유는 하지 않았고, 객관적이고 독립적인 평가를 보장하기 위한 절차로 설정하였다.

검사-재검사 신뢰도(ICC3,1)는 평가자 A가 1차 평가를 완료한 뒤, 동일 피험자를 7일 또는 10일 간격으로 재평가하여 일치도를 비교하였다. 본 연구 설계는 반복 평가로 발생할 수 있는 학습 효과를 배제하고자 평가 사이 충분한 간격을 두어 이를 통해 결과의 신뢰성을 확보하고자 하였다. F8WT의 측정의 일관성을 확보하기 위해 2회 시행 후 평균값을 사용하였으며 매 회 수행 후, 각 세션에서는 30-60초간 휴식하도록 하였다. 이후 피험자의 기능수행 평가는 버그 균형 척도(Berg Balance Scale, BBS), 5회 일어서고 앉기 검사(Five-times Sit-to-Stand Test, FTSTST), 일어나 걸어가기 검사(Timed Up and Go, TUG), 푸글 마이어 하지 평가(Fugl Meyer Assessment-Lower/extremity, FMA-L/E), 10m보행검사(10meter Walk Test, 10mWT), 수정된 네모형 스텝 검사(modified Four Square Step Test, mFSST)를 실시하였다. 무작위 순서로 2~3일에 걸쳐 진행하였으며 각 평가 마다 근 피로도를 최소화하기 위해 각 평가 사이 최소 2~3분의 휴식 시간을 제공하였다(박동민 등, 2025; Pang 등, 2015). 피험자의 기능수행 평가는 F8WT와는 겹치지 않도록 진행하였다(Figure 1).

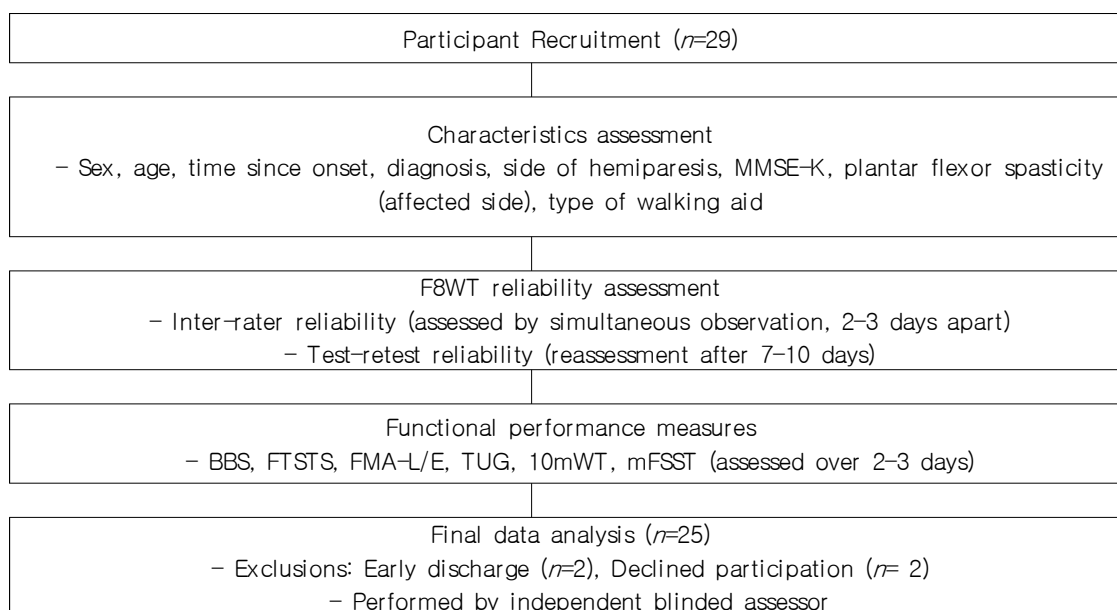


Figure 1. Flowchart of the study procedure

3. 측정도구

(1) 8자 모양 경로 보행 검사(Figure-of-8-walk test, F8WT)

8자 형태의 경로는 2개의 장애물 주위를 8자 모양으로 보행하는 것으로 ●표시는 장애물의 위치를 나타내는 것으로 두 장애물의 거리는 1.52m(5feet)로 하고, 장애물을 기준으로 각 0.61m(2feet)씩, 총 1.22m(4feet)를 벗어나지 않도록 되어 있다(Figure 2). 2개 장애물의 중간에서 시작하여 시계 반대 방향으로 왼쪽의 장애물을 돌아 시작 지점으로 왔다가 시계 방향으로 나머지 장애물을 돌아오는 시간을 측정하는 검사이다(Hess 등, 2010).

출발 지점에서 첫 발이 움직이기 시작한 시점부터, 양발이 다시 시작 위치로 복귀해 과제가 끝나는 때까지 초시계를 측정하였다. F8WT의 측정 요소 중 수행에 소요되는 시간과 걸음 수, 정확도는 보행 중 장애물 주변 2feet(0.61m)내에서 벗어나지 않고 걷는 것을 예(), 아니오()로 기록하게 되어 있다. ‘자연스러움’ 항목은 보행 시 지속적이고 규칙적인 걸음 형태를 평가하는 지표로, 총점은 0점에서 3점까지로 구성되어 있다. 평가 항목에는 멈춤, 머뭇거림, 속도 변화가 포함되며, 각 항목은 0점(어려움 있음), 1점(어려움 없음)으로 채점한다. 이전 연구에서 정확도와 자연스러움의 평가 항목은 신뢰도가 낮은 것(카파지수=0.25~0.40점)으로 보고되었기 때문에(Hess 등, 2010) 본 연구에서는 보행 수행의 변화를 평가하는데 객관적이고 민감한 F8WT에 소요되는 시간을 이용하였다. 만성 뇌졸중 환자를 대상으로 한 F8WT의 측정자간 신뢰도 ICC는 0.95~0.999이다(김양호 등, 2012; 박창식, 2017; Wong 등, 2013).

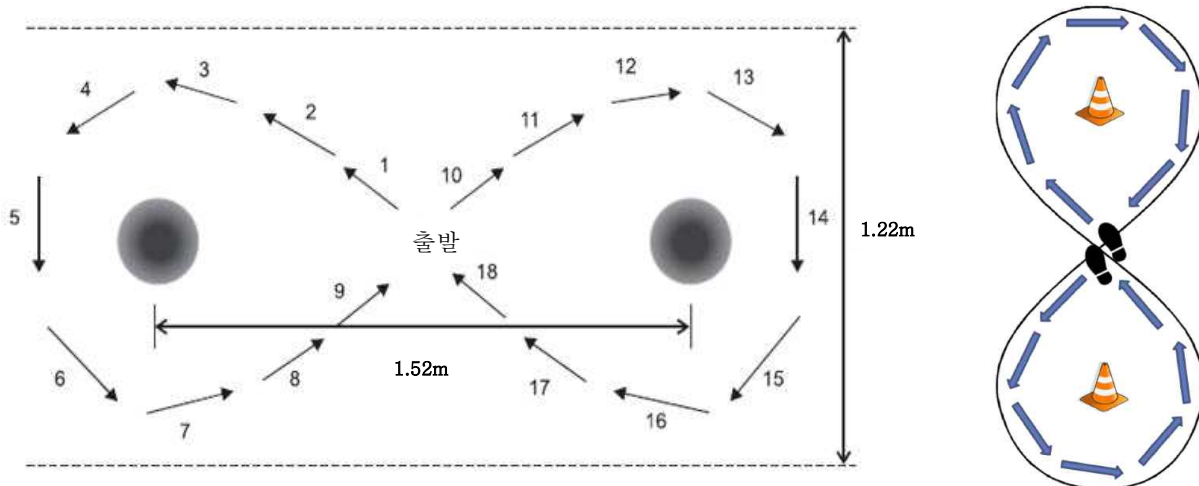


Figure 2. F8WT set up. Arrows indicate direction of walking pattern(Barker 등, 2019; Hess 등, 2010)

(2) 버그 균형 척도(Berg Balance Scale, BBS)

BBS는 동적 균형 능력을 평가하는 도구로, 평가 항목은 앉기, 서기 자세, 자세 변화 등 3개 영역으로 구성되어 있다. 각 항목은 0점(최소)에서 4점(최대)까지 채점되며, 총 14개 항목의 합산 점수는 최대 56점이다(Berg 등, 1992). 점수가 높을수록 동적 균형 능력이 우수함을 의미하며, 이 검사의 측정자간 신뢰도 ICC=0.95이다(Flansbjerg 등, 2012).

(3) 5회 앉았다 일어나기 검사(Five times sit-to-stand test, FTSTST)

피험자는 등받이가 있는 팔걸이 없는 의자에 착석한 뒤, 양팔을 흉부 앞에서 교차한 자세로 팔을 짚지 않은 상태로 일어서기와 앉기를 다섯 차례 반복하며, 이때 소요된 총 시간을 측정한다. 측정은 피험자의 등이 등받이에서 떨어져 앞으로 몸통을 이동시키기 위해 등이 등받이에서 처음 떨어지는 시점부터, 마지막에 등이 다시 등받이에 접촉하는 순간까지로 정의된다. 이 검사의 측정자간 신뢰도는 ICC=0.998로 매우 높은 수준으로 보고되었다(Mong 등, 2010).

(4) 푸글 마이어 하지 기능(Fugl Meyer Assessment-Lower/Extremity, FMA-L/E)

FMA-L/E는 뇌졸중 환자의 마비측 하지에서 나타나는 자발적 운동, 반사 반응, 협응 능력 등을 종합적으로 평가하여 하지 운동기능 수준을 측정하는 평가도구이다. 총 17개 항목으로 구성되어 있고, 각 항목은 0~2점으로 채점되며, 만점은 34점이다(Fugl Meyer 등, 1975). 마비측 하지의 운동기능 장애 수준은 평가 점수에 근거하여 구분하였다. 34점은 정상, 29~33점은 경도 장애, 23~28점은 중등도 장애, 18~22점은 현저한 장애, 그리고 17점 이하는 중증 장애로 분류

하였다. FMA-L/E의 측정자간 신뢰도 ICC=0.92이다(Hsueh 등, 2008).

(5) 일어나 걸어가기 검사(Timed Up G Go Test, TUG)

기능적 기동성을 평가하기 위하여 TUG를 이용하였으며, 피실험자는 등받이가 있는 의자에서 일어나 3 m 직선을 걸어간 후 180° 회전하여 다시 의자로 돌아와 앉는 시간을 측정하는 것이다(Podsiadlo과 Richardson, 1991). 3회 실시 후 평균값을 이용하였다. TUG의 측정자 간 신뢰도는 ICC=0.98이다(Flansbjer 등, 2005)

(6) 10meter 보행 검사(10meter Walk Test, 10mWT)

10mWT를 이용하여 자가 선택한 편안한 보행 속도를 측정하였다. 해당 검사는 총 14m 보행 구간에서 가속 2m와 감속 2m를 제외한 중간 10m의 보행 소요 시간을 초 단위로 측정한다. 피험자의 보행 시간은 첫 발이 2 m 표지를 통과한 시점부터 12 m 표지를 지날 때까지로 정의하여 기록하였고, 측정의 정확도를 높이기 위해 3회 반복 측정 후 산출한 평균값을 분석에 사용하였다. 10mWT의 검사-재검사 신뢰도는 ICC=0.93이다(Salbach 등, 2017).

(7) 수정된 네모형 스텝 검사(modified Four Square Step Test, mFSST)

mFSST는 4개의 지팡이를 사용하는 대신, 바닥에 2인치(5.08cm) 폭의 테이프를 십자 형태로 부착하여 구획을 만든다. 피험자는 1번 구역에서 전방을 향해 선 뒤, 시계 방향으로 2, 3, 4번 구역을 순차적으로 이동하고, 이후에는 반시계 방향으로 4, 3, 2, 1번 구역으로 되돌아오는 절차로 수행하였다. 검사 시 대상자에게 다음과 같이 안내하였다. 가능한 신속하게 과제를 수행하되, 테이프에 발이 닿지 않도록 주의하도록 하였다. 각 구역에서는 두 발이 모두 바닥에 접촉해야 하며, 수행 중에는 몸의 방향을 정면으로 유지하도록 지시하였다. 시간 측정은 “시작” 신호와 동시에 개시하고, 마지막 발이 1번 구역에 도달하는 순간 종료하였다. 또한 테이프를 넘을 때 충분한 여유를 확보할 수 있도록, 구역 내에서는 필요한 만큼 보폭(걸음 수)을 조절해도 된다고 설명하였다. 이때 측정은 참가자가 첫걸음을 내딛는 순간 시작되며, 마지막 발이 1번 칸에 닿는 순간 종료되며, 총 소요 시간은 이 두 지점을 기준으로 기록되었다(Roos 등, 2016). 피험자들은 1회 사전 연습을 시행한 뒤 본 검사를 2회 수행하였고, 더 우수한 측정값을 사용하였다. 대상자가 테이프를 밟거나, 균형을 잃거나, 몸을 회전하여 다음 구역을 바라볼 경우 해당 회차는 실패로 간주하였다. mFSST의 측정자간 신뢰도 ICC는 0.94~0.987이다(박동민 등, 2025; Roos 등, 2016)

4. 자료분석

모든 자료는 SPSS version 21.0를 사용해 분석하였고, 정규성 및 동질성을 검정하기 위해 Shapiro-Wilk 검정을 적용하였다. 대상자의 일반적 특성은 빈도분석으로 정리하였고, 기능 수행 평가지표는 기술통계를 적용하여 평균, 표준편차, 사분위수, 최소값 및 최대값으로 제시하였다. F8WT의 측정자 간 신뢰도는 급간내상관계수(Intraclass Correlation Coefficient, ICC_{2,1}=평가자 무작위 배정, 이차원 변량, 절대일치), 검사-재검사 신뢰도는 ICC_{3,1}(고정된 평가자, 이차원 혼합 모형, 절대 일치)이용하여 평가하였으며, ICC 값의 신뢰도 기준은 0.50~0.69(양호), 0.70~0.89(우수), ≥0.90(매우 우수)로 분류된다(Munro 등, 2005). 또한, 피험자가 동일한 측정을 반복 수행할 때 수행 점수가 95% 신뢰 구간 내에서 일정하게 유지되는지 또는 무작위 변동이 발생하는지를 검토하기 위해 측정의 표준 오차 [SEM = 측정자 간과 검사-재검사 점수의 표준편차 × √(1-ICC)]와 최소 감지 변화(MDC = 1.96 × SEM × √2)를 계산하였다(Turk 등, 2008). SEM이 평균 수행 점수의 15% 미만이면 수용 가능하며, MDC가 최대 수행 점수의 20% 미만이면 신뢰할 수 있고 10% 미만이면 매우 신뢰할 수 있다(Beckerman 등, 2001; Liaw 등, 2008). 또한, MDC % [(MDC/평균 점수) × 100%]를 계산하였으며, 이는 측정 단위에 영향을 받지 않기 때문에 다양한 검사에서 신뢰도

의 재현성을 비교하는 데 사용할 수 있다. MDC(%)가 30% 미만이면 측정 오차 수용이 가능하다(Turk 등, 2008; Smidt 등, 2002). 또한 대응표본 t-검정을 사용하여 F8WT의 측정자 간 및 검사-재검사 간 측정값의 차이를 분석함으로써 체계적인 편향(Systematic bias)이 존재하는지를 확인하였다(Chen 등, 2009). 측정값 간 평균 차이에 대한 95% 일치 한계(limit of agreement, LOA)를 파악하기 위해 Bland-Altman 분석 방법을 적용하였다(Bland와 Altman, 1986). F8WT의 집중 타당도는 BBS, FTSTST, FMA-L/E, TUG, 10mWT, mFSST 결과값의 관련성을 스피어만 상관 계수(Spearman coefficient)를 이용하여 분석하였다. 상관계수(r)의 해석 기준은 0.25~0.50은 중등도(moderate), 0.50~0.74는 우수, 0.75 이상은 매우 우수한 상관관계를 나타낸다(Portney와 Watkins, 2000). 모든 통계학적 유의 수준은 $\alpha=.05$ 로 하였다.

III. 연구결과

1. 피험자들의 일반적인 특성과 기능수행 평가

피험자들의 일반적인 특성과 기능수행 평가는 다음 (Table 1)과 같다.

Table 1. The characteristics and outcome measures of the subject (n=25)

Parameters	n (%) or Mean ± SD (min~max)
Gender(male/female)	13(52)/12(48)
Age(year)	57.96±8.86(34~67)
Duration(months)	3.98±0.92(2~5)
Diagnosis(infarction/hemorrhage)	14(56)/11(44)
Paretic side(left/right)	11(44)/14(56)
MMSE-K(score)	26.32±1.49(24~30)
Ankle plantar-flexor muscle(MAS score) G=0 / G=1~G=1+ / G=2	10(40)/13(52)/2(8)
Walking aid independent / single point cane / quadripod cane	11(44)/9(36)/5(20)
BBS(score)	43.20±7.36(27~55)
FTSTST(sec)	21.95±13.17(9.27~68.43)
FMA-L/E(score)	23.32±5.32(14~31)
TUG(sec)	20.83±17.91(8.39~79.53)
10mWT(m/s)	0.63±0.28(0.32~1.32)
mFSST(sec)	28.43±19.89(11.09~81.06)

MMSE-K: Mini mental state examination, SD: Standard deviation, MAS: Modified Ashworth Scale, BBS: Berg Balance Scale, FTSTST: Five times Sit to Stand test, FMA-L/E: Fugl Meyer Assessment-Lower/Extremity, TUG: Timed Up & Go test, 10mWT: 10meter Walk Test, mFSST: modified Four Square Step Test

2. F8WT의 측정자 간과 검사-재검사 신뢰도, SEM, MDC, MDC(%)

F8WT의 측정자 간과 검사-재검사 신뢰도 ICC는 각각 0.987, 0.990으로 일치율은 우수하였다. F8WT의 측정자 간 및 검사-재검사 간 SEM은 각각 1.83초, 1.55초로 평균 수행 시간의 10% 미만이었으며, MDC 역시 각각 5.07초, 4.29초로 최대 소요 시간의 10% 미만으로 나타나 측정 오차는 임상적으로 허용 가능한 수준이었다. 또한 MDC(%)는

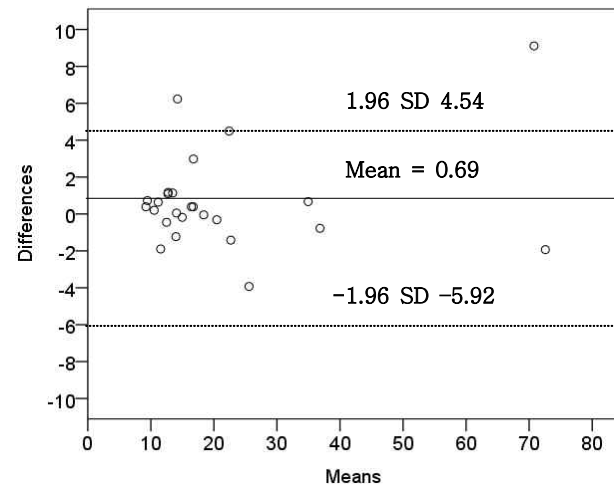
모두 30% 미만으로 신뢰할 수 있는 변화 감지 능력을 보였다. 두 조건 모두에서 유의한 차이가 없어($p>.05$) 체계적인 측정 오차가 관찰되지 않은 것으로 확인되었다.

Bland-Altman 산점도 분석 결과, F8WT의 측정자 간과 검사-재검사 간 평균 차이에 대한 95% LOA는 각각 -5.92 ~4.54, -4.72~3.86으로 측정 오차는 임상적으로 허용 가능한 수준이었다(Table 2, Figure 2, 3)

Table 2. The Inter-rater and test-retest reliability of F8WT, SEM, MDC, and MDC% ($n=25$)

Measures	Mean \pm SD		Mean difference (SD)	ICC (95% CI)	SEM	MDC (%)	p^\dagger
	Median (Q1~Q3)						
	Min ~ Max						
	Rater A	Rater B					
Inter-rater (ICC2,1)	21.75 \pm 17.05	21.05 \pm 16.42	-0.69 (2.67)	0.987 (0.971~0.994)	1.83	5.07 (23.69)	0.203
	16.62(12.75~22.78)	15.07(12.15~22)					
	9.42~75.33	9.03~73.54					
	Test	Retest					
Test-retest (ICC3,1)	20.31 \pm 15.41	19.88 \pm 15.71	-0.43 (2.19)	0.990 (0.978~0.998)	1.55	4.29 (21.35)	0.334
	14.71(13.38~20.63)	15.21(12.49~20.94)					
	8.91~76.32	9.10~74.21					

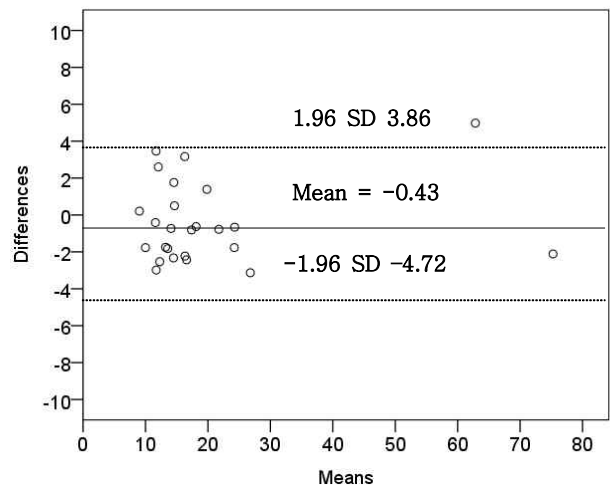
Q1: first quartile, Q3: third quartile, SD: Standard deviation, ICC: Intraclass correlation coefficient, CI: Confidence interval, MDC: Minimal detectable change= $1.96 \times SEM \times \sqrt{2}$, MDC(%)= MDC/mean score of measurements) \times 100%, SEM: Standard error of measurement=standard deviation of all the inter-rater or test-retest test score $\times \sqrt{(1-ICC)}$, $^\dagger P$ was based on paired t test



—, mean difference; 95% LOA

The 2 dashed lines : mean of difference \pm 1.96 \times SD
The LOA for the F8WT(sec) ranged from -5.92 to 4.54

Figure 2. Balnd-Altman plot for the F8WT(Inter-rater)



—, mean difference; 95% LOA

The 2 dashed lines : mean of difference \pm 1.96 \times SD
The LOA for the F8WT(sec) ranged from -4.72 to 3.86

Figure 3. Balnd-Altman plot for the F8WT(Test-retest)

3. F8WT 소요시간의 집중 타당도

F8WT 소요 시간은 BBS, FTSTS, FMA-L/E, TUG, 10mWT, mFSST와 모두 유의한 상관관계를 보였으며, 특히 TUG($r=0.878$)와 mFSST($r=0.823$)에서 매우 높은 관련성이 있었다. 전반적으로 기능적 균형 및 이동성과 우수한 관련성이 확인되었다($p<0.001$, Table 3).

Table 3. The convergent validity of F8WT ($n=25$)

Outcome measures	F8WT(sec) $r(\rho)$
BBS(score)	-0.691($P<0.001$)
FTSTST(sec)	0.583($P<0.001$)
FMA-L/E(score)	-0.544($P<0.001$)
TUG(sec)	0.878($P<0.001$)
10mWT(m/s)	-0.721($P<0.001$)
mFSST(sec)	0.823($P<0.001$)

BBS: Berg Balance Scale, FSTST: Five-times Sit to Stand test, FMA-L/E: Fugl Meyer Assessment-Lower/Extremity, 10mWT: 10meter Walk Test, TUG: Timed Up & Go test, mFSST: modified Four Square Step Test, $p<0.001$ *

IV. 고 찰

보행은 변화하는 주변 환경에 유연하게 적응하기 위해 신경계와 근골격계의 정교하고 통합적인 조절을 필요로 한다(Hess 등, 2010). 특히 직선 보행과 곡선 보행 모두에서 방향 전환 능력은 핵심적인 요소로 작용한다. 본 연구에서는 F8WT가 아급성기 뇌졸중 환자의 기능적 이동성과 균형 능력을 평가하는 데 있어 우수한 신뢰도와 타당도를 지닌 평가 도구임을 확인하였다.

본 연구에 참여한 아급성기 뇌졸중 환자들의 F8WT 수행 시간은 평균 20.74초(보행 속도 0.63m/s)로 만성 뇌졸중 환자들의 F8WT 수행 시간인 12.83~14.68초(보행 속도 0.74~0.79m/s)보다 현저히 느린 것으로 확인되었다(박창식, 2017; Wong 등, 2013). 본 연구 피실험자들의 평균 연령은 57.96세로 건강한 성인(평균 57.76세)의 6.62초에 비해 3배 이상 긴 시간이 소요되었으며(Wong 등, 2013), 지역사회에 거주하는 평균 연령 76.8세 이상의 건강한 노인 집단의 평균 수행 시간 10.49초(보행 속도 0.89m/s)에 비해서도 약 2배 느린 결과를 보였다(Hess 등, 2010). 보행 속도와 관련하여 Butler 등(2009)은 85~89세 고령자의 보행 속도가 20~39세 성인에 비해 약 56% 감소한다고 보고한 바 있으며, 이러한 연령에 따른 보행 속도의 차이는 F8WT 수행 시간의 차이를 설명하는 하나의 요인이 될 수 있다. 이러한 결과는 뇌졸중 환자들이 일반적으로 건강한 노인에 비해 직선 보행 속도가 느리고(Dean 등, 2001), 방향 전환시에도 시간이 더 오래 걸리는 경향이 있다(Hollands 등, 2010). F8WT는 직선 보행과 방향 전환이 함께 포함되어 있으며, 환자는 마비측과 비마비측 모두로 회전해야 하는 과제를 수행하게 된다(Hess 등, 2010). 뇌졸중 환자들의 보행 속도 저하와 회전 기능 저하와 관련이 있다고 볼 수 있다. 특히 뇌졸중으로 인한 하지 근력 약화, 균형 조절 능력 저하와 같은 신체 기능 손상이 있으며, 이는 근육 운동 단위의 발화 빈도가 충분하지 않거나 감소된 상태로 인해 나타나는 생리학적 결과로 설명된다(Gemperline 등, 1995).

따라서 본 연구 결과는 F8WT가 뇌졸중 환자의 전반적인 보행 능력 및 균형 기능 저하를 민감하게 반영할 수 있는 도구임을 시사한다.

본 연구에서 F8WT의 측정자 간 신뢰도(ICC=0.987)와 검사-재검사 신뢰도(ICC=0.990)는 모두 매우 우수한 수준으로 나타났다. 이러한 결과는 기존 문헌에서 보고된 여러 대상군의 신뢰도 수치와 비교했을 때도 높은 수준임을 확인할 수 있다. 예를 들어, 지역사회에 거주하는 노인을 대상으로 한 연구에서는 측정자 간 신뢰도(ICC=0.85~0.89)와 검사-재검사 신뢰도(ICC=0.61~0.84)를 보고한 바 있으며(Hess 등, 2010), 만성 뇌졸중 환자를 대상으로 한 연구에서도 측정자 간 및 측정자 내 신뢰도와 검사-재검사 신뢰도가 ICC 0.944~0.999 범위로 보고되었다(김양호 등, 2012; 박창식, 2017; Wong 등, 2013). 이 외에도, 다발성 경화증 환자에서는 F8WT의 측정자 간 및 측정자 내 신뢰도가 ICC=0.976~0.985로 매우 높게 나타났으며(Kirmaci 등, 2023), 검사-재검사 신뢰도는 ICC=0.916으로 보고되었다(Soke 등, 2022). 또한 파킨슨병 환자를 대상으로 한 연구에서도 측정자 간 신뢰도(ICC=0.964~0.978) 및 검사-재검사 신뢰도(ICC=0.905~0.920)가 보고되어(Soke 등, 2023), F8WT의 신뢰도가 다양한 신경계 질환군에서 일관되게 높다는 점을 시사하고 있다.

이러한 높은 신뢰도 결과와 함께, 본 연구에서는 F8WT의 절대 신뢰도를 반영하는 지표로 SEM과 MDC를 함께 분석하였다. 이 두 지표는 ICC 값을 기반으로 산출되며, 일반적으로 ICC가 높을수록 SEM과 MDC는 낮아지는 역의 관계를 가진다(Beckerman 등, 2001; Chen 등, 2009). SEM은 측정값의 오차 범위를 나타내며, MDC는 측정 도구가 실제 변화를 감지할 수 있는 최소 수준을 의미하여 치료 중재의 효과를 해석하는 기준으로 활용된다(Liaw 등, 2008; Turk 등, 2008). 아급성기 뇌졸중 환자의 F8WT에 대한 MDC는 아직 국내외에서 명확히 보고된 바 없으며, 기존에 보고된 만성 뇌졸중 환자의 MDC는 2.82초로 제시된 바 있다(박창식, 2017). 반면, 다른 신경계 질환군의 경우 다발성 경화증 환자에서는 MDC가 1.04~1.25초로, 파킨슨병 환자에서는 2.77초로 보고된 바 있다(Kirmaci 등, 2023; Soke 등, 2022). 본 연구에서 산출된 F8WT의 SEM은 1.55~1.83초, MDC는 4.29~5.07초였으며, MDC(%)는 21.35~23.69% 범위로 확인되어 이는 임상적으로 허용 가능한 수준의 오차로 해석된다. 더불어, 측정자 간 및 검사-재검사 간 F8WT 결과값에서 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않아 체계적인 오차는 존재하지 않았으며, 측정 결과가 일관되고 안정적으로 도출되었음을 보여준다. 따라서 향후 동일 환자의 F8WT 소요 시간이 현재 측정값보다 4.29~5.07초 이상 빨라지는 경우, 이는 단순한 측정 오차를 초과한 것으로 판단되며, 임상적으로 유의미한 기능적 향상으로 간주될 수 있다(Beckerman 등, 2001; Turk 등, 2008).

그러나 F8WT의 MDC 값이 실제로 임상적으로 의미 있는 변화를 반영하는지를 정량적으로 입증하기 위해서는 추가 연구가 필요하다. 향후 연구에서는 8자 경로 보행 훈련 중재 전후의 F8WT 소요 시간 변화와 MDC 값을 비교 분석함으로써, 본 도구가 임상적 변화를 민감하게 감지할 수 있는 평가 수단인지에 대한 타당성을 검증할 필요가 있다. 또한, 본 연구에서 F8WT의 측정자 간 및 검사-재검사 간 평균 차이에 대한 95% 신뢰구간(LOA)은 각각 -5.92~4.54, -4.72~3.86초로 나타났으며, 이는 측정 오차가 수용 가능한 수준임을 시사한다. 각 조건에서 산출된 점수들이 LOA 구간 내에 비교적 균등하게 분포했다는 점은 반복 측정 간의 일관성이 높고, 측정 결과의 신뢰성이 우수함을 보여준다. 특히 측정자 간과 검사-재검사 간 평균 차이가 줄고 LOA 범위가 좁아진 점은 본 평가 도구의 측정 방법이 일관되게 적용되었음을 의미한다.

본 연구에서 F8WT는 측정자 간 및 검사-재검사 간 모두 높은 일치도와 수용 가능한 수준의 측정 오차를 보여주었다. 이러한 신뢰도는 몇 가지 요인에 기인한 것으로 보인다. 첫째, 표준화된 검사 절차를 준수하였으며, 숙련된 평가자가 명확한 지시사항에 따라 일관되게 검사를 시행함으로써 측정의 일관성이 유지되었다. 둘째, 측정자 간 평가는 각각 독립적으로 시행되었으며 평가 결과를 상호 공유하지 않았다. 검사-재검사 평가는 1차 평가 후 7일 또는 10일의 간격을 두고 충분한 휴식을 제공하여 학습 효과를 최소화하였고, 이를 통해 결과의 신뢰도를 더욱 높일 수 있었다. 셋째,

측정자 간 및 검사-재검사 간의 평균 소요 시간에서 유의한 차이가 나타나지 않아, 체계적인 측정 편향 없이 일관된 결과가 확보되었음을 보여준다. 마지막으로, 높은 ICC(≥ 0.987) 값은 낮은 수준의 SEM과 MDC 값으로 이어졌으며, 이는 두 지표가 측정 신뢰도를 설명하는 유효한 보조 지표임을 뒷받침한다(Beckerman 등, 2001; Turk 등, 2008). 이와 같은 결과는 F8WT가 신뢰도 높은 기능 평가 도구로서 임상적 적용 가능성이 높음을 시사한다.

F8WT는 뇌졸중 환자군의 특이적 기능 제한을 반영하는 기능수행 평가 결과와의 상관관계 분석을 통해 타당성을 입증하였다. F8WT 소요시간은 BBS와 유의한 상관관계($r=-0.691$)가 있었는데, F8WT는 보행 및 방향 전환과 같은 과제가 신체 중심을 잃지 않고 민첩하게 이동하는 능력을 요구하기 때문이며, BBS 자체에도 360° 회전과 같은 과제가 포함되어 있어 F8W 테스트의 곡선 보행과 유사성이 높기 때문으로 해석된다. 게다가 F8WT 소요시간은 FTSTST와 유의한 상관관계($r=0.583$)가 있었는데 FTSTST는 하지 근력을 측정하는 평가하는 검사이지만 FTSTST는 BBS와 관련($r=-0.837$)이 있으며, 이 변수 하나만으로도 BBS를 예측하는데 설명력이(beta= -0.630) 우수하였으며, 균형 능력을 예측할 수 있는 지표로 보고되었다(Ng, 2010). 본 연구에서도 F8WT와 BBS간에 높은 상관관계가 나타난 점을 볼 때 FTSTST와도 유의미한 관계도 충분히 설명될 수 있다. 또한 F8WT는 FTSTST($r=0.533$), BBS($r=-0.55\sim-0.703$)(김양호 등, 2012; Wong 등, 2013)와 유의한 관련이 있음이 입증되었다.

F8WT 소요시간과 FMA-L/E간에 유의한 관련성($r=-0.544$)이 있었는데, FMA-L/E는 하지 운동 기능을 정량적으로 측정하는 포괄적인 평가 도구이기 때문이다. FMA-L/E는 F8WT($r=-0.717$)와 밀접한 관련이 있으며(Wong 등, 2013), 보행속도와 이동거리를 측정하는 10mWT($r=-0.518\sim-0.637$), TUG($r=-0.535$), 6MWT($r=0.585$)와 유의한 관련성이 확인된 바 있다(Ahn 등, 2021; Courbon 등, 2006; Pohl 등, 2002). F8WT는 실제 보행에서 요구되는 운동 조절 능력이 더 중요하다는 점을 시사한다. F8WT 소요시간은 TUG($r=0.878$), 10mWT($r=-0.721$)간에 높은 수준의 관련성을 보이는 것으로 확인되었다. 이 세 가지 테스트 모두 직선 보행과 방향 전환 동작을 포함하고 있기 때문이다. 서로 유사한 동작 과제가 포함된 검사 간에는 상관관계가 높게 나타나는 경향이 있으며, 이는 F8WT와 10mWT 및 TUG 점수 간의 밀접한 관계를 설명해 준다. 이는 F8WT 소요 시간은 10mWT($r=-0.91\sim-0.909$), TUG($r=0.81\sim0.93$)과 유의한 관련성이 있음으로 본 연구결과를 지지한다(김양호 등, 2012; 김중휘 등, 2012; Wong 등, 2013). F8WT는 mFSST($r=0.823$)와 매우 높은 관련성이 있었는데, F8WT는 곡선 경로에서 연속적인 방향 전환이 요구하며, mFSST는 네 개의 방향으로 연속적인 측방, 전방, 후방 스텝 이동과 방향전환(회전) 동작이 포함되어 있어 두 검사 모두 동적 균형과 이동성 및 민첩성 등 기능적 요소들이 두 검사에서 공통적으로 평가되기 때문에, 측정값 간의 높은 상관관계가 자연스럽게 나타나는 것이다. 이러한 결과는 임상에서 환자의 보행 안정성과 낙상 위험평가를 위해 두 검사는 서로 상호보완적인 평가 방법으로 사용할 수 있다. 따라서 F8WT의 소요 시간 단축은 균형 능력, 하지 근력, 하지 운동 기능, 기능적 이동성, 보행 속도, 민첩성 등 복합적인 신체 기능이 전반적으로 우수함으로 반영하며, F8WT검사는 이들 요소와 밀접하게 연결된 유용한 평가 도구라 할 수 있다.

그러나 본 연구에는 몇가지 제한점이 존재한다. 첫째, F8WT 수행 시 완료하는 시간에 초점을 맞추었을 뿐, 움직임의 질적인 측면은 반영하지 않았다. 둘째, F8WT 수행이 가능한 비교적 하지 운동 기능이 양호한 뇌졸중 환자를 대상으로 하였기 때문에, 결과의 일반화는 유사한 특성을 지닌 대상자에 한정될 수 있다. 셋째, 본 연구에서는 F8WT와 mFSST를 평가하였으나 낙상과 균형 자신감을 포함하지 못하였다는 제한점이 있다. 넷째, 하지 근력, 관절 가동 범위, 균형에 대한 자신감, 고유수용성 감각 등이 F8WT 수행에 영향을 줄 수 있는 잠재적 요인들을 충분히 통제하거나 분석하지 못한 점도 본 연구의 한계로 지적된다. 따라서 향후 연구에서는 다양한 기능 수준을 지닌 대상자와 충분한 표본을 바탕으로, F8WT 수행에 영향을 미치는 여러 요인을 고려한 다각적 분석이 필요하다.

V. 결론

본 연구는 아급성기 뇌졸중 환자를 대상으로 한 F8WT의 측정자 간과 검사-재검사 신뢰도는 우수하였고, 임상 의사 결정에 활용 가능한 MDC는 4.29~5.07초로 나타나 허용가능한 측정 오차 범위에 해당한다. 또한 F8WT 소요시간은 균형 능력(BBS), 하지 근력(FTSTST), 하지 운동 기능(FMA-L/E), 보행 속도(10mWT), 기능적 이동성(TUG), 균형 및 민첩성(mFSST)과 유의한 상관관계를 보여, 이는 뇌졸중과 관련된 기능 지표들과 긴밀한 관련이 있음을 의미한다. 따라서 F8WT는 고차원적 보행 능력을 평가할 수 있는 신뢰도 높은 간편한 임상 평가 도구로, 특히 일상생활 수행에 필수적인 이동성과 방향 전환 능력을 효과적으로 반영한다. 재활 과정에서의 기능적 회복 수준을 객관적으로 평가할 수 있는 유용한 지표로 임상 현장에서 적극적으로 활용될 수 있다.

참고문헌

- 박동민, 안승현. 아급성기 뇌졸중 환자의 수정된 네모형 걸음 검사의 유용성 평가. PNF and Movement. 2025;23(1),49-62.
- 김은주, 양성필, 이준민, 등. 아급성기 뇌졸중 환자의 보행속도가 지역사회 보행에 미치는 예측과 판별타당도. 대한물리치료과학회지, 2024;31(4):1-12.
- 김은주, 양성필, 이준민, 등. 아급성기 뇌졸중 환자의 10m 보행 검사와 6분 보행 검사와의 관계. 대한물리치료과학회지, 2025;32(1):28-41.
- 김은주, 신준호, 양성필, 등. 뇌졸중 환자의 로봇보조 보행 훈련이 제한된 지역사회 보행에 미치는 요인 분석. 특수교육재활과학연구. 2025;64(1):427-445.
- 김중휘, 박지원. 뇌졸중 환자에서 8자 모양 경로 보행 검사의 동시타당도 연구. J Korean Soc Phys Ther. 2012;24(5),325-333.
- 김양호, 임재현. 뇌졸중 환자에서 Figure-of-8 walk test의 신뢰도와 타당도. J Kor Acad Clin Elec. 2012;10(1):29-38.
- 김미간, 김중휘, 박지원. 8자 모양을 이용한 방향전환 훈련이 뇌졸중 환자의 균형 및 보행에 미치는 영향. J Kor Soc Phys Ther. 2012;24(2),143-150.
- 박창식. 만성 뇌졸중 환자 8자 모양 경로 보행 검사의 측정자간·절대적 신뢰도와 타당도. Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society. 2017;18(5),467-474
- Ahn SY, Lee NG, Lee TH. Relation of exercise capacity to comprehensive physical functions in individuals with ischemic stroke. NeuroRehabilitation. 2021;48(3):375-383.
- Barker KL, Batting M, Schlüssel M, et al. The reliability and validity of the Figure of 8 Walk test in older people with knee replacement: does the setting have an impact?. Physiotherapy, 2019;105(1), 76-83.
- Beckerman H, Roebroek ME, Lankhorst GJ, et al. Smallest real difference, a link between reproducibility and responsiveness. Qual Life Res. 2001;10:571-578.
- Berg KO, Maki B, Williams JI, et al. Clinical and laboratory measures of postural balance in an elderly population. Arch Phys Med Rehabil. 1992;73(11):1073-1080.
-

- Bland JM, & Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet*. 1986;1(8476):307-310.
- Bohannon RW, Horton MG, Wikholm JB. Importance of four variables of walking to patients with stroke. *Int J Rehabil Res*. 1991;14:246-50.
- Butler AA, Menant JC, Tiedemann AC, et al. Age and gender differences in seven tests of functional mobility. *J Neuroeng Rehabil*, 2009;6:31.
- Chen HM, Chen CC, Hsueh IP, et al. Test-retest reproducibility and smallest real difference of 5 hand function tests in patients with stroke. *Neurorehabilitation and neural repair*, 2009;23(5), 435-440.
- Cheng, D. K., Nelson, M., Brooks, D., et al. (2020). Validation of stroke-specific protocols for the 10-meter walk test and 6-minute walk test conducted using 15-meter and 30-meter walkways. *Topics in stroke rehabilitation*, 27(4), 251-261.
- Courbon A, Calmels P, Roche F, et al. Relationship between maximal exercise capacity and walking capacity in adult hemiplegic stroke patients. *Am J Phys Med Rehabil* 2006; 85:436-44.
- Courtine G, Schieppati M. Human walking along a curved path. I. Body trajectory, segment orientation and the effect of vision. *Eur J Neurosci* 2003;18:177-190.
- Dean CM, Richards CL, Malouin F. Walking speed over 10 metres overestimates locomotor capacity after stroke. *Clin Rehabil* 2001;15:415-421.
- Flansbjer UB, Holmback AM, Downham D, et al. Reliability of gait performance tests in men and women with hemiparesis after stroke. *J Rehab Med*, 2005;37(2):75-82.
- Flansbjer UB, Blom J, Brogårdh C. The reproducibility of Berg Balance Scale and the Single-leg Stance in chronic stroke and the relationship between the two tests. *Physical medicine and rehabilitation*. 2012;4(3):165-170.
- Fugl-Meyer AR, Jaasko L, Leyman I, et al. The post-stroke hemiplegic patient. 1. a method for evaluation of physical performance. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine*. 1975;7(1):13-31.
- Gemperline JJ, Allen S, Walk D, et al. Characteristics of motor unit discharge in subjects with hemiparesis. *Muscle Nerve*, 1995;18:1101-1114.
- Hess RJ, Brach JS, Piva SR, et al. Walking skill can be assessed in older adults: validity of the Figure-of-8 Walk test. *Phys Ther* 2010;90:89-99.
- Hicheur H, Vieilledent S, Berthoz A. Head motion in humans alternating between straight and curved walking path: combination of stabilizing and anticipatory orienting mechanisms. *Neuroscience letters*, 2005;383(1-2),87-92.
- Hsueh IP, Hsu MJ, Sheu CF, et al. Psychometric comparisons of 2 versions of the Fugl-Meyer motor scale and 2 versions of the Stroke Rehabilitation Assessment of Movement. *Neurorehabilitation and neural repair*. 2008;22(6):737-744.
- Hollands KL, Hollands MA, Zietz D, et al. Kinematics of turning 180 degrees during the timed up and go in stroke survivors with and without falls history. *Neurorehabil Neural Repair* 2010;24:358-67.
- Jung HY. Rehabilitation in subacute and chronic stage after stroke. *Stroke revisited: diagnosis and treatment of ischemic stroke*. 2017:351-360.

- Kirmaci ZIK, Adiguzel H, Erel S, et al. The reliability and validity of the Figure of 8 walk test in mildly disabled persons with multiple sclerosis. *Multiple sclerosis and related disorders*, 2023;69, 104430.
- Lee J, Kim G. Functional Recovery in Acute and Subacute Stroke Patients With or Without Post-stroke Fatigue. *Brain & NeuroRehabilitation*. 2024;17(3):e22.
- Liaw LJ, Hsieh CL, Lo SK, et al. The relative and absolute reliability of two balance performance measures in chronic stroke patients. *Disability and Rehabilitation*. 2008;30(9):656-661.
- Lowry KA, Brach JS, Nebes RD, et al. Contributions of cognitive function to straight-and curved-path walking in older adults. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 2012;93(5):802-807.
- Mong Y, Teo TW, Ng SS. 5-repetition sit-to-stand test in subjects with chronic stroke: reliability and validity. *Arch Phys Med Rehabil*. 2010;91(3):407-413.
- Munro BH. *Statistical methods for health care research*. 5th edn. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2005. p. 42-52.
- Ng SS. Balance ability, not muscle strength and exercise endurance, determines the performance of hemiparetic subjects on the timed sit-to-stand test. *Am J Phys Med Rehabil* 2010;89:497-504.
- Pang EY, Fong SS, Tse MM, et al. Reliability and validity of the sideways step test and its correlation with motor function after stroke. *J Phys Ther Sci*. 2015;27(6):1839-1845.
- Podsiadlo D & Richardson, S. The timed "Up & Go": a test of basic functional mobility for frail elderly persons. *Journal of the American Geriatric Society*. 1991;39(2):142-148.
- Salbach NM, O'Brien KK, Brooks D, et al. Considerations for the selection of time-limited walk tests poststroke: a systematic review of test protocols and measurement properties. *Journal of Neurologic Physical Therapy*, 2017;41(1):3-17.
- Smidt N, van der Windt DA, Assendelft WJ, et al. Interobserver reproducibility of the assessment of severity of complaints, grip strength, and pressure pain threshold in patients with lateral epicondylitis. *Arch Phys Med Rehabil*. 2002;83(8):1145-1150.
- Pohl PS, Duncan PW, Perera S, et al. Influence of stroke related impairments on performance in 6-minute walk test. *J Rehabil Res Dev* 2002;39:439-444.
- Pollock C, Eng J, Garland S. Clinical measurement of walking balance in people post stroke: a systematic review. *Clin Rehabil* 2011;25:693-708.
- Portney LG & Watkins MP. *Foundations of Clinical Research: Applications to Practice*. Vol 2, Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, USA, 2000. p.145-182
- Roos MA, Reisman DS, Hicks GE, et al. Development of the modified four square step test and its reliability and validity in people with stroke. *Journal of Rehabilitation Research and Development*. 2016;53(3):403-412
- Soke F, Demirkaya S, Gulsen C, et al. The figure-of-eight walk test is a reliable and valid test for assessing walking skill in people with multiple sclerosis. *Multiple sclerosis and related disorders*, 2022;67:104099.
- Soke F, Erkoc Ataoglu NE, Ozcan Gulsen E, et al. The psychometric properties of the figure-of-eight
-

- walk test in people with Parkinson's disease. *Disability and Rehabilitation*, 2023;45(2):301–309.
- Son HH, Park CH. Effect of turning direction on Timed Up and Go test results in stroke patients, *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*. 2019;55(1):35–39.
- Turk R, Notley SV, Pickering RM, et al. Reliability and sensitivity of a wrist rig to measure motor control and spasticity in poststroke hemiplegia. *Neurorehabil Neural Repair*. 2008;22(6):684–696.
- Welch SA, Ward RE, Kurlinski LA, et al. Straight and curved path walking among older adults in primary care: associations with fall-related outcomes. *PM&R*, 2016;8(8), 754–760.
- Wong SS, Yam MS, Ng SS. The Figure-of-Eight Walk test: reliability and associations with stroke-specific impairments. *Disability and rehabilitation*, 2013;35(22),1896–1902.
-