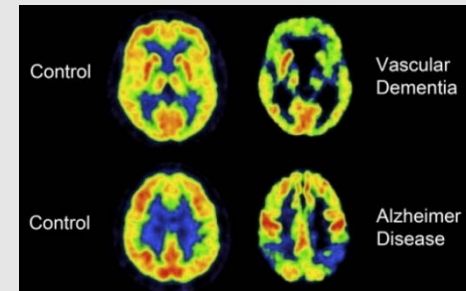
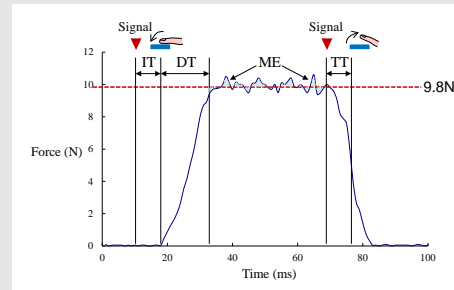


운동의지장애의 조기 선별을 위한 정상인 손가락 힘 특성 분석

*Analysis of Motor Performance in Normal Finger Force Control Capabilities
for Motor Intentional Disorder (MID)*



2013. 5. 23

박현지¹, 이백희¹, 정기효², 이병화³, 나덕렬³, 유희천¹

¹포항공과대학교 산업경영공학과

²울산대학교 산업경영공학부

³성균관의대 삼성서울병원 신경과

AGENDA

- **Introduction**

- Background
- Objective of the Study

- **Method**

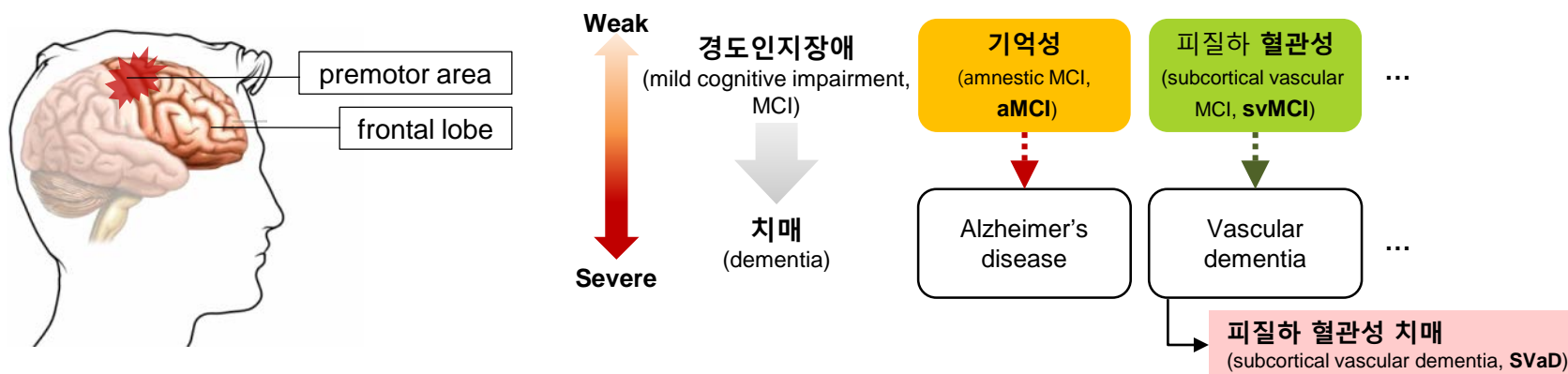
- Development of Finger Touch System
- Experiment of Finger Force Control

- **Results**

- **Discussion**

운동의지장애의 임상적 중요성

- ❑ **운동능력(motor performance)의 저하**(Holvia et al., 2012; Ward et al., 2003)
 - ✓ **연령 증가(aging effect)**, 뇌 손상, 골격근 양 감소, 근력 저하, 인지 능력 감퇴 등
- ❑ **운동의지장애(motor intentional disorders, MID)**
 - ✓ 다양한 뇌 손상 환자에서 나타나는 syndrome (Seo et al., 2009)
 - ✓ 신체를 움직이려는 의지가 저하 → **힘 통제 능력 ↓**



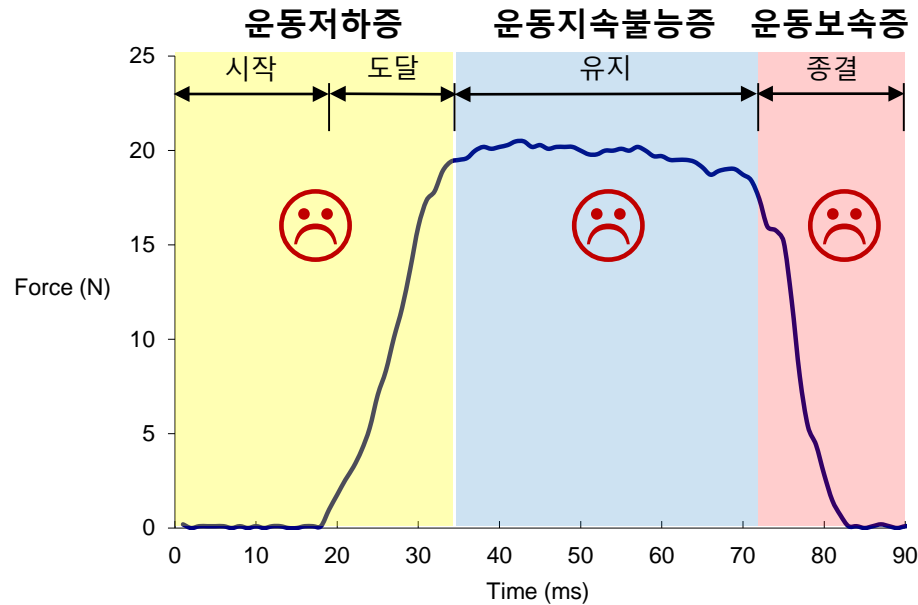
MID 발병 원인

뇌 손상 환자 유형(aMCI, svMCI, SVaD)

⇒ MID는 뇌 손상 질환에 따라 나타나는 정도의 차이가 있으나, 대부분의 환자는 **발병 초기에 MID가 나타나 조기 선별이 중요함**

운동국면 별 운동능력 평가의 필요성

- 힘 통제(force control) 특성에 따른 4 가지 운동국면: **시작, 도달, 유지, 종결**

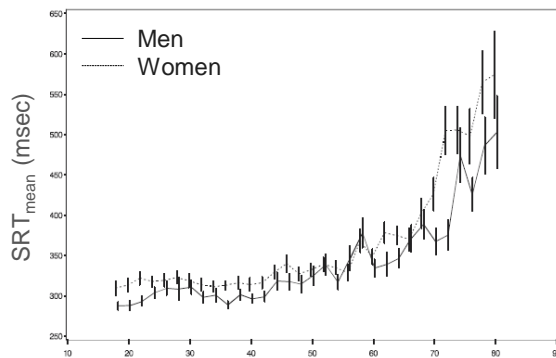


운동국면에 따른 MID 세 가지 유형(Heilman, 2004)

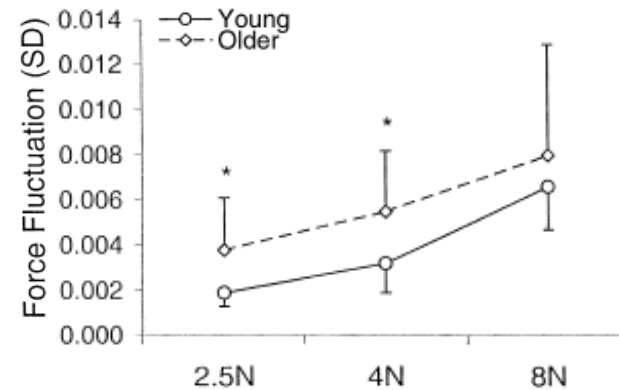
⇒ 기존 MID는 임상가가 환자의 행동 관찰 및 병력 청취를 통해 진단되고 있어(Crucian et al., 2007), MID 정도의 체계적 & 정량적 평가를 위한 운동국면 별 운동능력 평가 필요

기존 운동능력 유관 연구

- 힘 시작, 유지에 따른 운동능력 평가가 주로 이루어지고 있음
 - ✓ Der and Deary (2006): age ↑ → reaction time ↑
 - ✓ Vinoth et al. (2001): age ↑ → force fluctuation ↑
 - ✓ **도달, 종결 국면에 대한 motor performance 연구 미흡**



Age effect on reaction time
(Der and Deary, 2006)



Age effect on force fluctuation
(Vinoth et al., 2001)

- ⇒ 평가 대상의 다양한 인자를 반영한 **체계적인 운동국면 별 운동능력 평가 필요**
- ⇒ **운동국면 별 정상인 normative database 수립 필요**

운동의지장애 환자의 조기 선별을 위한 정상인 힘 통제 특성(force control capabilities) 분석

1. 운동국면 별 정상인 손가락 힘 통제 능력 평가
 - ✓ 운동국면 별 힘 통제 특성 평가 방법 정립
 - ✓ 운동국면(시작, 도달, 유지, 종결) 별 손가락 힘 측정
2. 정상인 힘 특성 규준 수립
 - ✓ 힘 특성에 대한 연령대, 성별, 손이 미치는 효과 분석
3. 정상인과 MID 환자의 운동능력 비교
 - ✓ 정상인과 MID 환자의 운동국면 별 손가락 힘 통제 특성 비교
 - ✓ MID 유무와 정도 평가를 위한 판별 모형 개발

S1. 운동국면 별 평가 방법 정립

- 문헌 조사를 통한 평가 척도 파악
- 힘 통제 특성 평가 방법 수립

S2. 정상인 힘 측정 실험

- 실험대상: 20 ~ 70대 정상인 360명
- Finger dynamometer를 통한 힘 측정

S3. 정상인 힘 통제 특성 분석

- 연령, 성별, 손이 미치는 효과 분석
- 운동국면 별 정상인 힘 특성 규준 수립

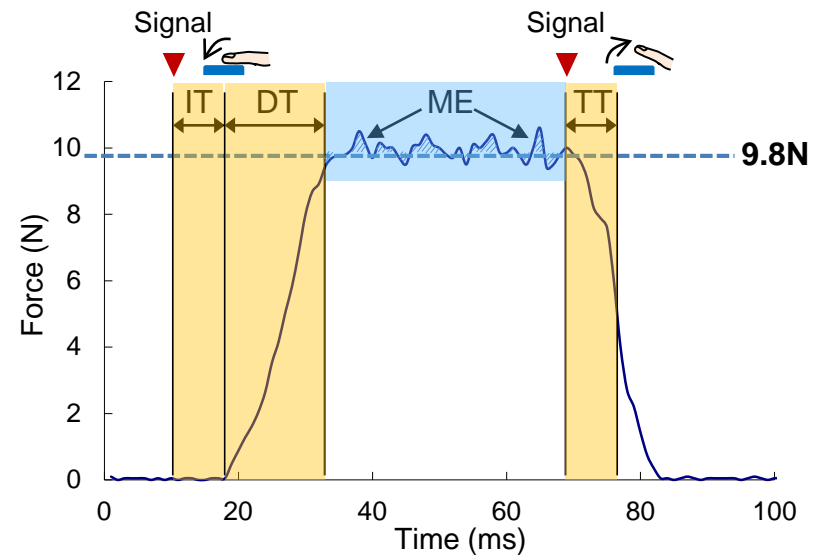
S4. 정상인과 환자의 힘 통제 특성 비교

- MID 환자(aMCI, svMCI, SVaD) 유형 별 힘 특성 분석
- MID 판별 모형 개발

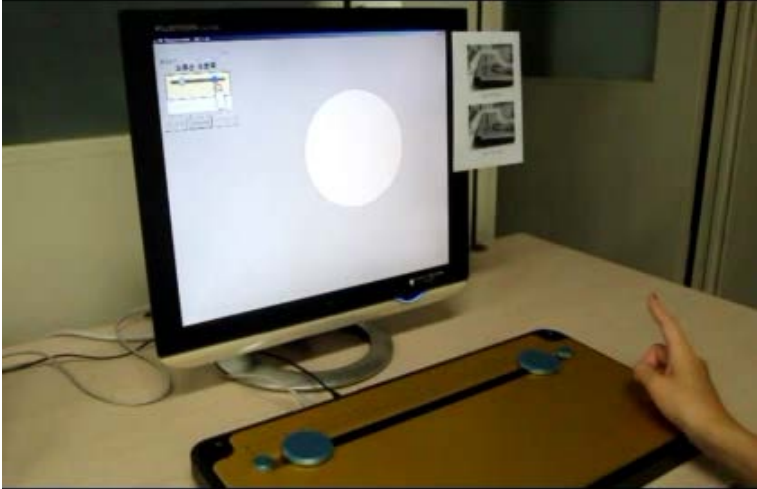

S1. 운동국면 별 평가 방법 정립: 평가 척도

□ 운동국면 별 평가 척도(Seo et al., 2009)

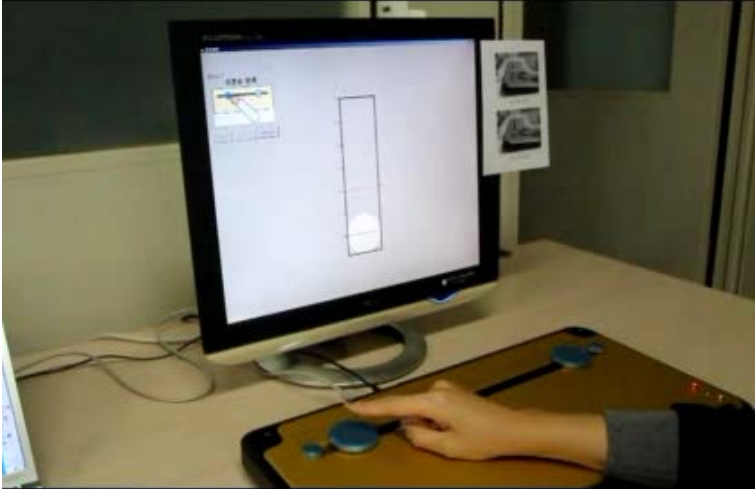
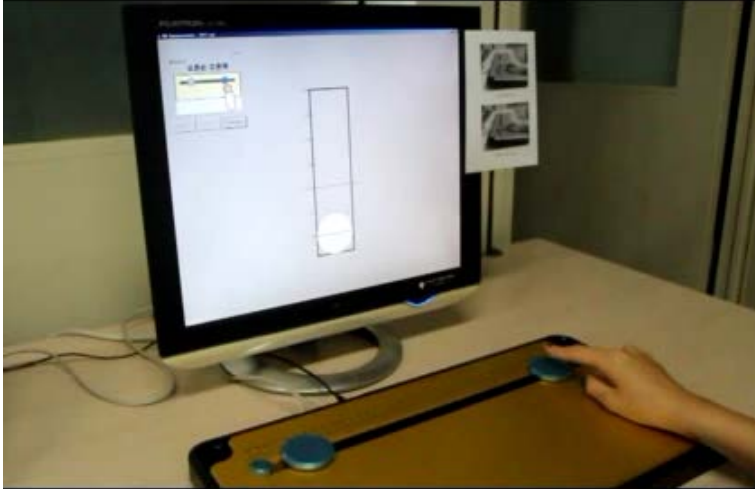
국면	평가 척도
시작	$\text{Initiation Time (IT)} = t_i - t_j$ <i>i</i> = time to press the sensor; <i>j</i> = time to appear red signal 무작위로 제시되는 신호에 대한 최단 반응시간 (msec)
도달	$\text{Development Time (DT)} = t_i - t_j$ <i>i</i> = time to reach 9.8N; <i>j</i> = time to press the sensor 목표 힘(9.8N)에 도달하는데 걸리는 최단 시간 (ms)
유지	$\text{Maintenance Error (ME)} = \frac{\sum_{i=0}^{10000} f_i - 9.8 \text{ N} }{10000}$ <i>f_i</i> = finger force at time <i>i</i> 목표 힘(9.8N)을 10초 간 유지할 때 발생하는 유지 오차 (mN)
종결	$\text{Termination Time (TT)} = t_i - t_j$ <i>i</i> = time to release the finger; <i>j</i> = time to appear red signal 제시되는 신호에 대해 힘 유지를 종결하는 최단 반응시간 (ms)



S1. 운동국면 별 평가 방법 정립: 검사 방법

검사	시작 검사	도달 검사
Task	신호 표시부(흰색 원)에 빨간 신호가 들어오면 최대한 신속하게 센서를 누름	센서를 눌러 목표 힘(9.8N)까지 최대한 신속하게 도달
Demonstration		

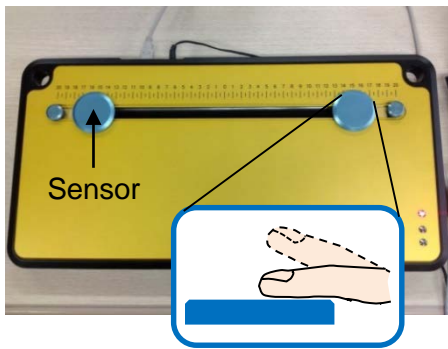
S1. 운동곡면 별 평가 방법 정립: 검사 방법(cont.)

검사	유지 검사	종결 검사
Task	센서를 눌러 목표 힘(9.8N)에 도달한 후, 10 초 간 목표 힘을 최대한 유지	센서를 눌러 목표 힘을 유지하다가 신호 표시부에 빨간 신호 가 들어오면 최대한 신속하게 손가락을 떼어냄
Demonstration		

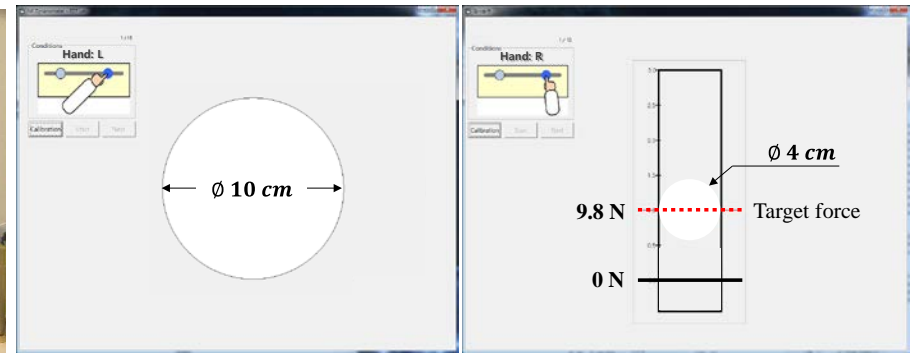
S2. 정상인 힘 특성 측정 실험: Apparatus

1 / 3

- ❑ Finger touch (FT) 장비(SeedTech Co., South Korea)
 - ✓ 운동곡면 별 손가락 힘 측정
 - ✓ 2개의 압력 sensor (load cell) 사용(precision = 0.196 N, sampling rate = 30 ~ 32 Hz)
- ❑ 19인치 모니터(FLATRON L1940P, LG Electronics Co., South Korea)
- ❑ 평가 S/W



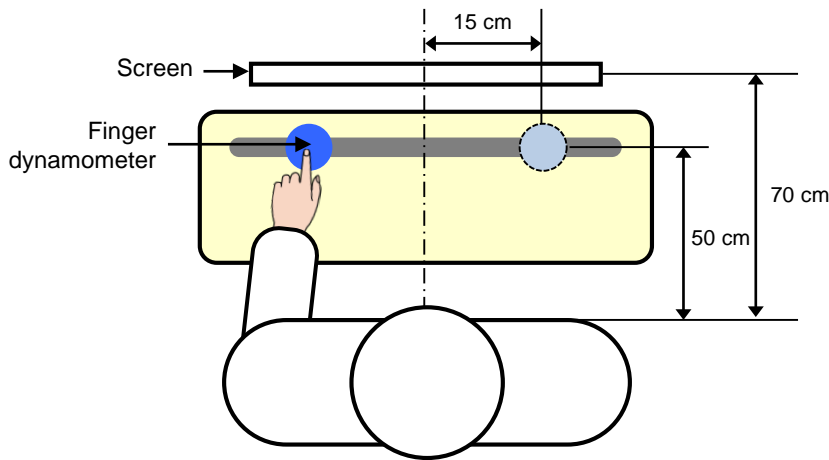
실험 장비(H/W) 구성



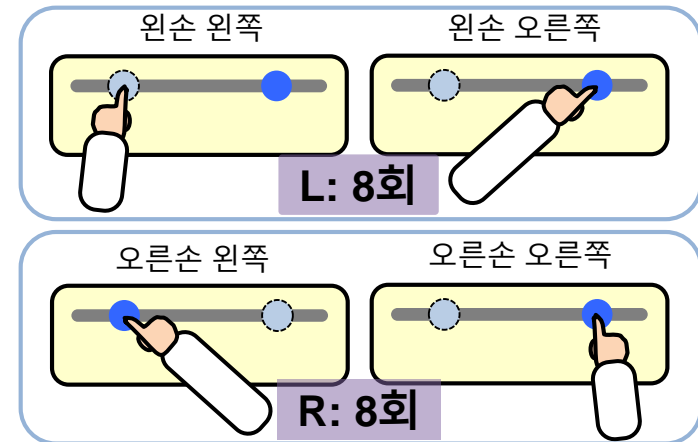
평가 S/W 인터페이스

S2. 정상인 힘 특성 측정 실험: 방법

- ❑ 실험 참여자: **정상인 360명**(20대 ~ 70대 남녀 각 30명)
- ❑ 실험 방법: **검지손가락**으로 운동곡면에 따른 **네 가지 task 수행**
- ❑ Experimental design: **three-factor mixed-subjects design**
 - ✓ b-s-f: 연령(20대 ~ 70대), 성별(남, 여)
 - ✓ w-s-f: 손(왼손, 오른손) → **실험 조건, 조건 별 8회 반복**

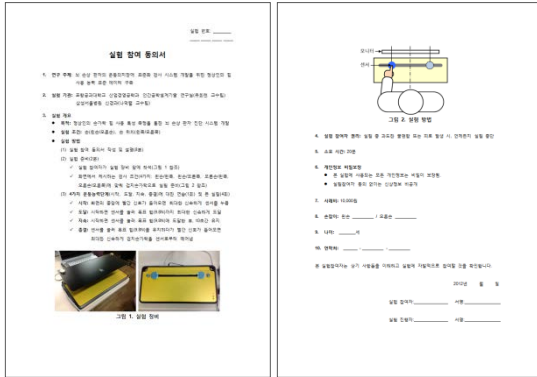


시스템 구성(검사 조건 예: 왼손 왼쪽)



네 가지 검사 조건

S2. 정상인 힘 특성 측정 실험: 절차



1인당 실험시간: 20분

S1. Preparation (3 min)

S2. Practice (5 min)

S3. Main experiment (10 min)

S4. Debriefing (2 min)



검사 종류

아래의 순서에 따라 연습을 충분히 시행한 후 검사를 수행하십시오

순번	연습	검사
1	지속 연습	지속 검사
2	도달 연습	도달 검사
3	시작 연습	시작 검사
4	종결 연습	종결 검사

Task 별 4회 (연습) / Task 별 16회 (검사) (총 20회)

※ 검사 순서: random

S3. 결과: Overall

□ 정상인 손가락 힘 특성에 대한 연령, 성별, 손의 효과 분석

	시작시간(IT)	도달시간(DT)	유지오차(ME)	종결시간(TT)
Age (A)	< .001	< .001	< .001	< .001
Gender (G)	.009	.012	< .001	.003
Hand (H)	.803	.008	.644	.032
A × G	< .001	.314	< .001	.379
A × H	.064	.756	.227	.515
G × H	.310	.667	.705	.242
A × G × H	.768	.851	.336	.568

Normalized force control capabilities	시작시간(IT)				도달시간(DT)				유지오차(ME)				종결시간(TT)			
	20 ~ 30s	40 ~ 50s	60s	70s	20 ~ 30s	40 ~ 50s	60s	70s	20 ~ 30s	40 ~ 50s	60s	70s	20 ~ 30s	40 ~ 50s	60s	70s
Male (Solid line)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Female (Dashed line)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

※ Shaded area: $p < .001$

⇒ 정상인의 힘 통제 특성은 모든 국면에서 연령 효과가 유의함

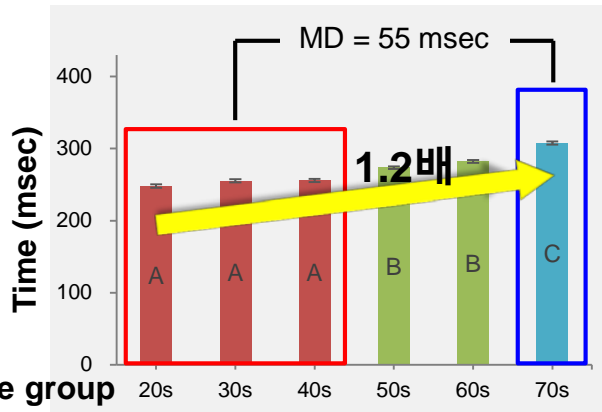
⇒ 유지국면에서만 성별에 따른 통계적 차이가 나타남

S3. 결과: 시작, 도달, 종결 국면

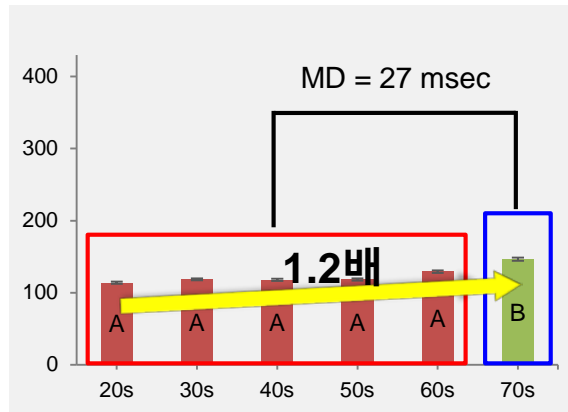
□ 정상인은 연령이 높을수록 힘 시작, 도달, 종결 시간이 느려짐

(시작: $F[5, 344] = 18.40, p < .001^*$; 도달: $F[5, 347] = 5.77, p < .001^*$; 종결: $F[5, 341] = 19.08, p < .001^*$)

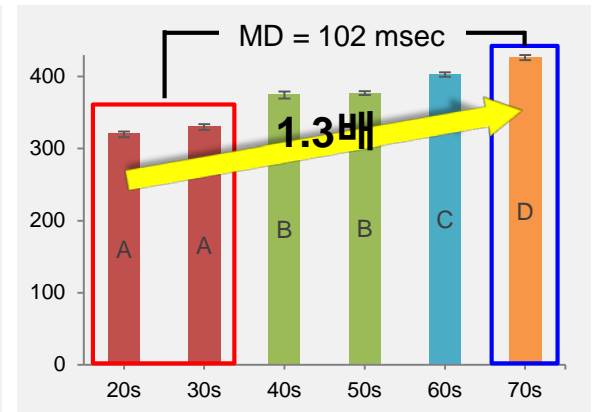
※ MD = mean difference



시작국면(IT)



도달국면(DT)



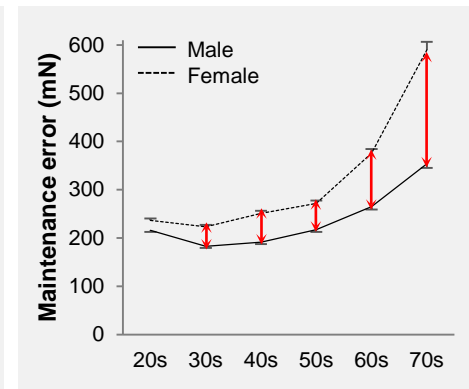
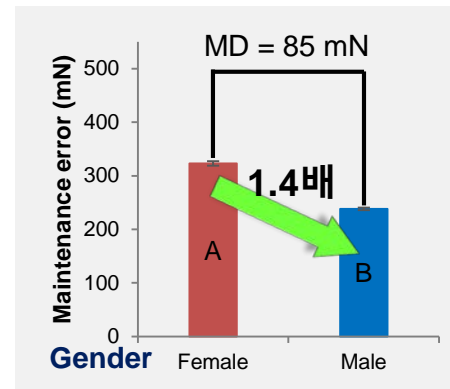
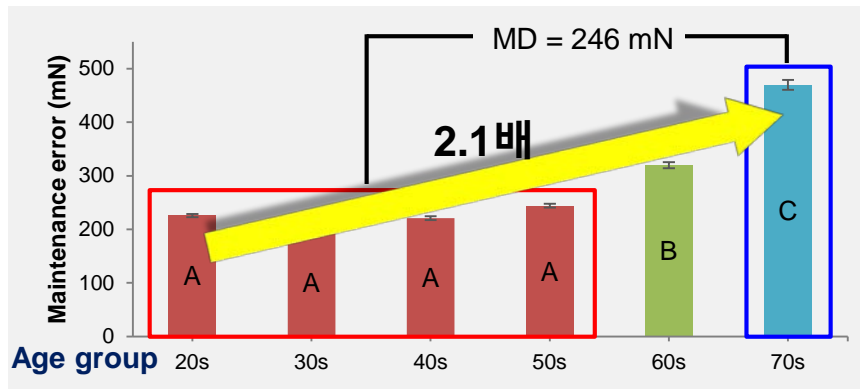
종결국면(TT)

⇒ 70대는 힘 시작, 도달, 종결 작업 시 1.2 ~ 1.3배 만큼 반응 시간이 느림

⇒ 운동국면 별 정상인 운동능력 저하 양상: 종결 > 시작 > 도달

S3. 결과: 유지 국면

- 정상인은 유지 국면에서 **연령대**와 **성별**에 따른 유의한 차이를 보임
 - ✓ **Age** effect: 연령↑ → ME↑ ($F(5, 347) = 47.04, p < .001^*$)
 - ✓ **Gender** effect: 남성 < 여성 ($F(1, 347) = 53.03, p < .001^*$)
 - ✓ **Interaction(A×G)** effect: 연령↑ → 남녀 간 ME 차이↑ ($F(5, 347) = 7.18, p < .001^*$)



※ MD = mean difference

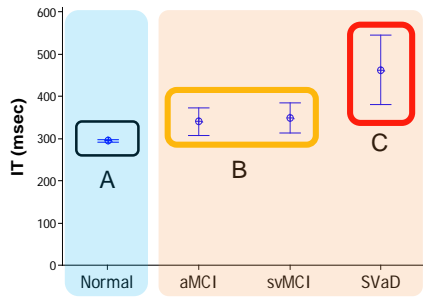
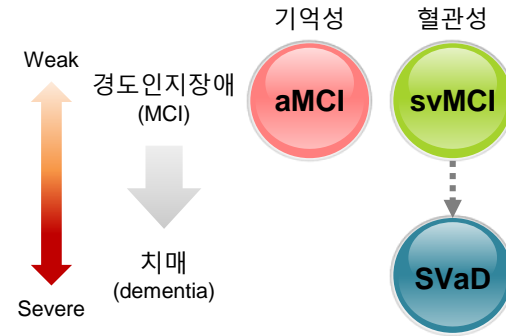
- ⇒ **70대는 20대 ~ 50대에 비해 2.1배 유지능력이 저하됨**
- ⇒ **여성의 유지능력은 남성에 비해 1.4배 낮으며, 고령일수록 남녀 간 ME 차이가 증가하는 경향을 보임**

S4. 힘 특성 비교: 정상인 vs. MID 환자

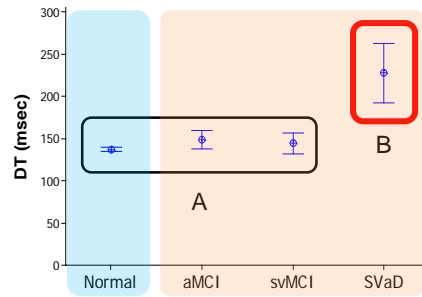
□ 기존 MID 환자 실험 결과와 비교(Yoon et al., 2012)

✓ 분석 대상: 60 ~ 70대 **정상인**,

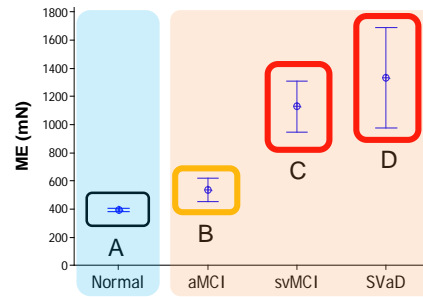
뇌 손상 환자(**aMCI**, **svMCI**, **SVaD**)



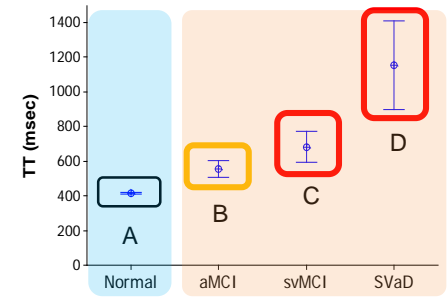
시작국면



도달국면



유지구면



종결국면

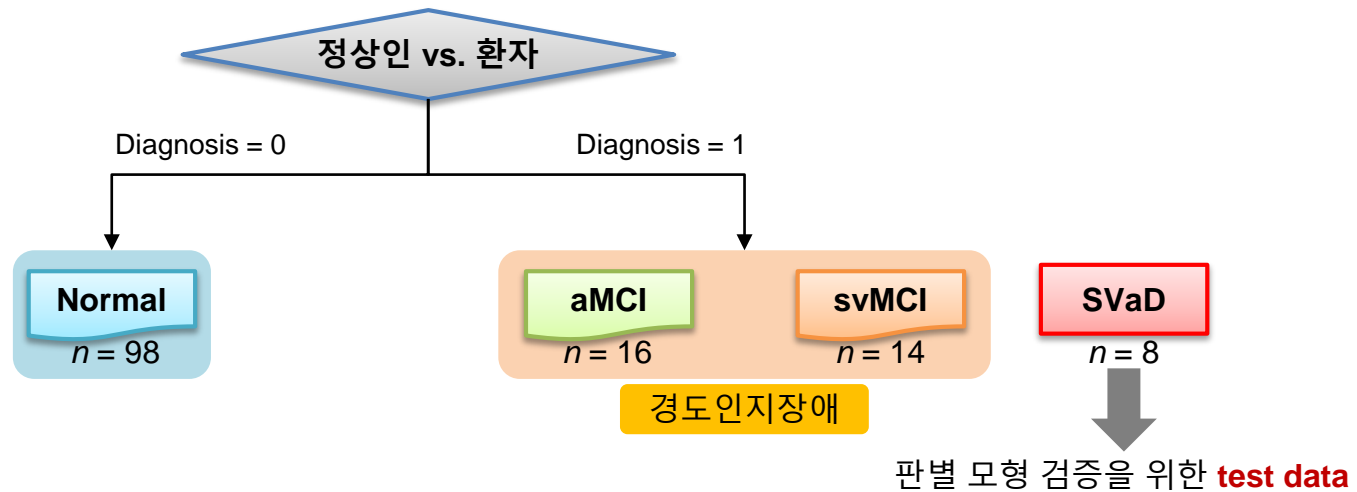
※ aMCI: 기억상실성 경도인지장애, svMCI: 피질하 혈관성 경도인지장애, SVaD: 피질하 혈관성 치매

⇒ 뇌 손상 환자는 정상인에 비해 1.1 ~ 3.4 배 운동능력이 저하됨

⇒ 환자 유형 별 운동능력 저하: **SVaD > svMCI > aMCI**

S4. 판별 모형 개발: 개요

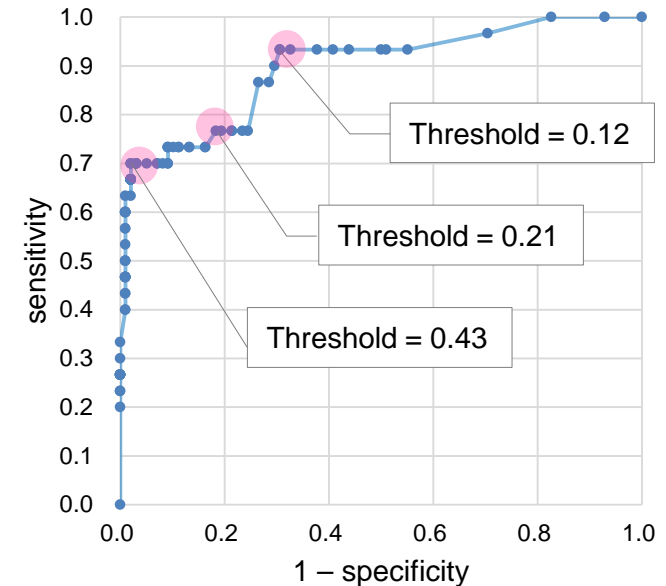
- 개발 목적: **MID 환자의 조기 선별**
- 개발 방법
 - ✓ 적용 기법: **binary logistic regression**
 - ✓ 변수 선정: **TT, ME, IT, age** (stepwise method 적용, $\alpha_{in, out} = 0.05$)
 - ✓ Data 분류
 - Training set: **정상인**, 경도인지장애(**aMCI + svMCI**) 환자
 - Test set: **SVaD** 환자



S4. 판별 모형 개발: 성능

□ 판별 threshold에 따른 성능 비교

No.	Threshold	Confusion Matrix				Performance (%)		
				실제 범주		Sensitivity	Specificity	Accuracy
1	0.12	<i>n</i> = 128		실제 범주		93.3	69.4	75.0
				Normal	MCI			
		추정 범주	Normal	68	2			
			MCI	30	28			
2	0.21	<i>n</i> = 128		실제 범주		76.7	81.6	80.5
				Normal	MCI			
		추정 범주	Normal	80	7			
			MCI	18	23			
3	0.43	<i>n</i> = 128		실제 범주		70.0	98.0	91.4
				Normal	MCI			
		추정 범주	Normal	96	9			
			MCI	2	21			



⇒ 정상인 판별 성능(**specificity > 0.9**)을 고려하여 환자 판별 성능(**sensitivity**)을 최대화하는 판별 threshold 결정 필요

⇒ MCI보다 severity 높은 **SVaD 환자**는 개발된 모형에 의해 **100% 환자로 분류됨**

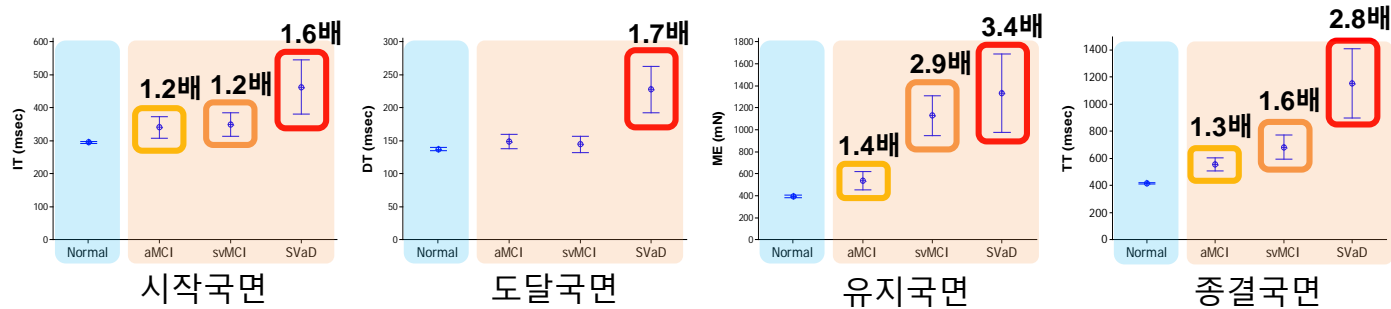
Discussion

- 운동국면(시작, 도달, 유지, 종결) 별로 정상인의 힘 통제 특성을 연령과 성별에 따라 체계적으로 평가하고 **normative database**를 구축함

- ✓ 70대는 20 ~ 50대에 비해, IT 1.2배, DT 1.3배, TT 1.2배 운동 능력이 저하됨
- ✓ 70대 ME는 20 ~ 50대에 비해, 남성 1.8배, 여성 2.4배 저하됨

⇒ **유지오차가 연령과 성별에 따른 변별성이 우수한 것으로 파악**

- 뇌 손상 환자 유형 별 정상인 대비 저하된 운동능력 특성 파악



- 뇌 손상 환자 유형 별 **MID 유무를 조기에 선별**하기 위한 판별 모형 개발

(Sensitivity(MCI) = 70%, sensitivity(SVaD) = 100%, specificity = 98%, accuracy = 91%)

⇒ **MID 판별을 위한 정량적 모형을 제시**하여 임상에서 유용하게 사용할 수 있을 것으로 기대됨

Q & A



Thank you for your attention