

Behaviors and Social Determinants of BMI Trajectories in South Korea : A Latent Class Analysis

연세대학교 약학대학
박사과정
최유리

Introduction: 왜 BMI 궤적인가?

- 비만(BMI ≥ 25)과 과체중(BMI 23-24.9)는 전 세계적으로 주요 공중보건 문제
 - WHO (2022): 비만을 만성·복합 질환으로 재규정, 전 세계적 대응 촉구
 - 한국 성인 비만 유병률: 2019년 34.4% → 2023년 37.2% (지속 증가)
- 비만은 T2DM, CVD, 뇌졸중, 여러 암, 조기 사망 및 장애 위험과 연관
- 비만은 행동과 사회경제적 지위가 장기간 축적된 결과
 - 낮은 SES: 건강한 식단, 운동 자원 부족, 스트레스 노출 증가 → 비만 위험 증가
- 단일 시점 BMI는 체중 누적 위험을 반영하지 못함
 - 같은 BMI 라도 성인 초기부터 고 BMI 유지 vs 중년 이후 급격한 증가 → 건강위험이 다름
- BMI 궤적 분석의 장점
 - 생애 전반 체중 변화 패턴과 누적 위험 정량화
 - 만성질환 예측력 향상
 - 중재 타이밍 또는 대상 집단을 더 정밀하게 정의 가능

Introduction: Trajectory 접근의 필요성

- LCGM 방법론적 특징:
 - 반복 측정된 BMI 자료에서 관찰되지 않은 잠재 계층을 추정
 - 기존 고정 BMI 범주 대신 데이터 기반 비모수적 잠재 계층 분석 활용
 - ✓ 오분류 및 정보 손실 감소
 - ✓ 다양한 체중 변화 패턴 (증가, 유지, 감소 등)을 구조적으로 포착
 - 각 궤적 계층에 영향을 미치는 인구사회학적/행동 요인 탐색
- 연구 목표:
 - 10년 패널 데이터에 잠재계층 성장 모형 (LCGM)을 적용하여 BMI 궤적의 잠재 계층 (latent classes)을 식별
 - 각 잠재 계층에 영향을 미치는 요인을 구분하여 궤적별 BMI 수준 차이를 평가
 - ✓ 수정가능한 요인: 건강행동 (흡연, 음주, 규칙적 운동 등)
 - ✓ 수정 불가능한 요인: 사회경제적 지위 (교육, 소득 등)

Method

- Data source

- 한국의료패널 (KHPS) 1차: 2009-2018년 자료 사용
- 병원방문, 건강검진을 포함한 의료 서비스 이용에 대한 포괄적인 정보 수집
- 사회경제적 지위, 건강 행태, 건강 상태, 파악

- Study Population

- 2009-2018년 balanced panel을 구성
- 10년간 BMI가 결측인 경우 제외
 - ∴ 완전한 BMI 정보 없이는 BMI 궤적 분류 불가능
- 행동, 사회적 요인과 같은 주요 공변량 관측치가 5개 미만인 경우 제외
 - ✓ 결측 처리: 다른 관측된 변수들을 활용하여 랜덤 포레스트 기반으로 imputation

Method

- Key variables
- outcome: BMI

구분	변수	기준
사회경제적지위	고령	65세 이상/ 미만
	교육 수준	고등학교 졸업 이상/미만
	가구 소득수준	등위 0-10분위 기준 저·중·고
건강상태	만성질환	다음 7개 만성질환 중 ≥1개 입원 또는 외래 진료 여부 (유/무) • 고혈압(I10-I15), 당뇨병(E10-E14), 고지혈증(E78), 관절 질환 (M00-M25), 결핵(A15-A19), 허혈성 심장질환(I20-I25), 뇌혈관 질환(I60-I69)
건강 행태	흡연 습관	흡연 경험 있음 (현재, 과거)/ 흡연 경험 없음
	음주 습관	폭음(유/무) • 지난 1개월 내 2-3회 이상 음주 & (남성) 소주 ≥7잔 또는 맥주 ≥5캔 / (여성) 소주 ≥6잔 또는 맥주 ≥4캔
	운동 습관	규칙적 운동 유/무
건강행태 갯수		흡연 경험 무+ 폭음 무+규칙적 운동 유

Empirical Strategy

- LCGA (latent class growth analysis): stage 1
 - 반복 측정된 BMI 자료로 서로 다른 BMI 변화 패턴을 보이는 잠재 계층(trajjectory classes) 식별
 - 최대우도추정(MLE)을 이용해 유사한 궤적을 공유하는 하위집단을 비모수적으로 추정
 - 각 계층별로 상이한 절편, 기울기를 허용
- **1단계**: 공변량 없이 LCGA 모델을 적합하여 잠재 BMI 궤적(class)을 식별하고, 각 개인의 posterior class probability와 측정모형 파라미터를 추정

$$Y_{ij} = \eta_{0i} + \eta_{1i} \cdot time_j + \varepsilon_{ij}$$

$$\eta_0 = \gamma_{0k} + \zeta_{0i}$$

$$\eta_{1i} = \gamma_{10k} + \gamma_{11k} + I(\text{male}) + \zeta_{1i}$$

여기서 i는 개인, j는 시점, k는 잠재계층

- 시간항(선형, 2차, 3차)과 잠재계층 수(1-6개)를 변화시킨 모델을 적합하고, BIC, 엔트로피, 평균 사후확률 (posterior class probability) 등을 종합하여 최적 계층 구조를 선정

Empirical Strategy

- LCGA (latent class growth analysis): stage 2

- Stage 1에서 추정된 측정모형을 고정한 상태에서, 다항 로지스틱 회귀를 통해 공변량 Z_i 가 class membership에 미치는 영향을 추정

$$P(C_i = k | Z_i) = \frac{\exp(\alpha_k + \beta_k^T Z_i)}{\sum_{k=1}^K \exp(\alpha_k + \beta_k^T Z_i)}, \quad k=1,2,\dots,K$$

- 이를 통해 꺾적 형태는 유지하면서, 공변량과 계층 간 연관성을 편향 최소화 방식으로 평가함.

- 추가 분석

- 계층별 선형 혼합모델 (LMM)으로 공변량이 BMI 수준에 미치는 계층 간 (between class)/계층 내 (within-class) 영향을 구분

Results

- Characteristic of Study Population

- Balanced panel (n=10,703) -> study population (n=4,707)

Variables	Overall panel (n=47 070)	Male (n=23 710, 50.37%)	Female (n=23 360, 49.63%)
Mean BMI (s.d.)	23.39 (2.95)	23.851 (2.773)	22.928 (3.048)
Older than aged 65 (%)	10,603 (22.53)	6,187 (26.09)	4,416 (18.9)
High school education attainment or over (%)	15,541 (33.02)	8,599 (36.27)	6,942 (29.72)
Having Chronic illness (%)	18,082 (38.42)	10,331 (43.57)	8,050 (34.46)
Household income (%)			
Middle	20,034 (42.56)	10,198 (43.01)	9,839 (42.12)
Upper	17,806 (37.83)	8,950 (37.75)	8,856 (37.91)
Smoking status (%)			
Past smoker	10,329 (21.94)	9,639 (40.65)	667 (2.86)
Current smoker	10,230 (21.73)	9,672 (40.79)	568 (2.43)
Binge drinking (%)	12,737 (27.06)	10,532 (44.42)	2,256 (9.66)
Regular exercise (%)	13,491 (28.66)	7,856 (33.13)	5,635 (24.12)
Number of health behavior (%)			
3	1,079 (2.29)	575 (2.43)	504 (2.16)
2	11,386 (24.19)	5,057 (21.33)	6,329 (27.09)
1	26,730 (56.79)	10,931 (46.10)	15,799 (67.63)

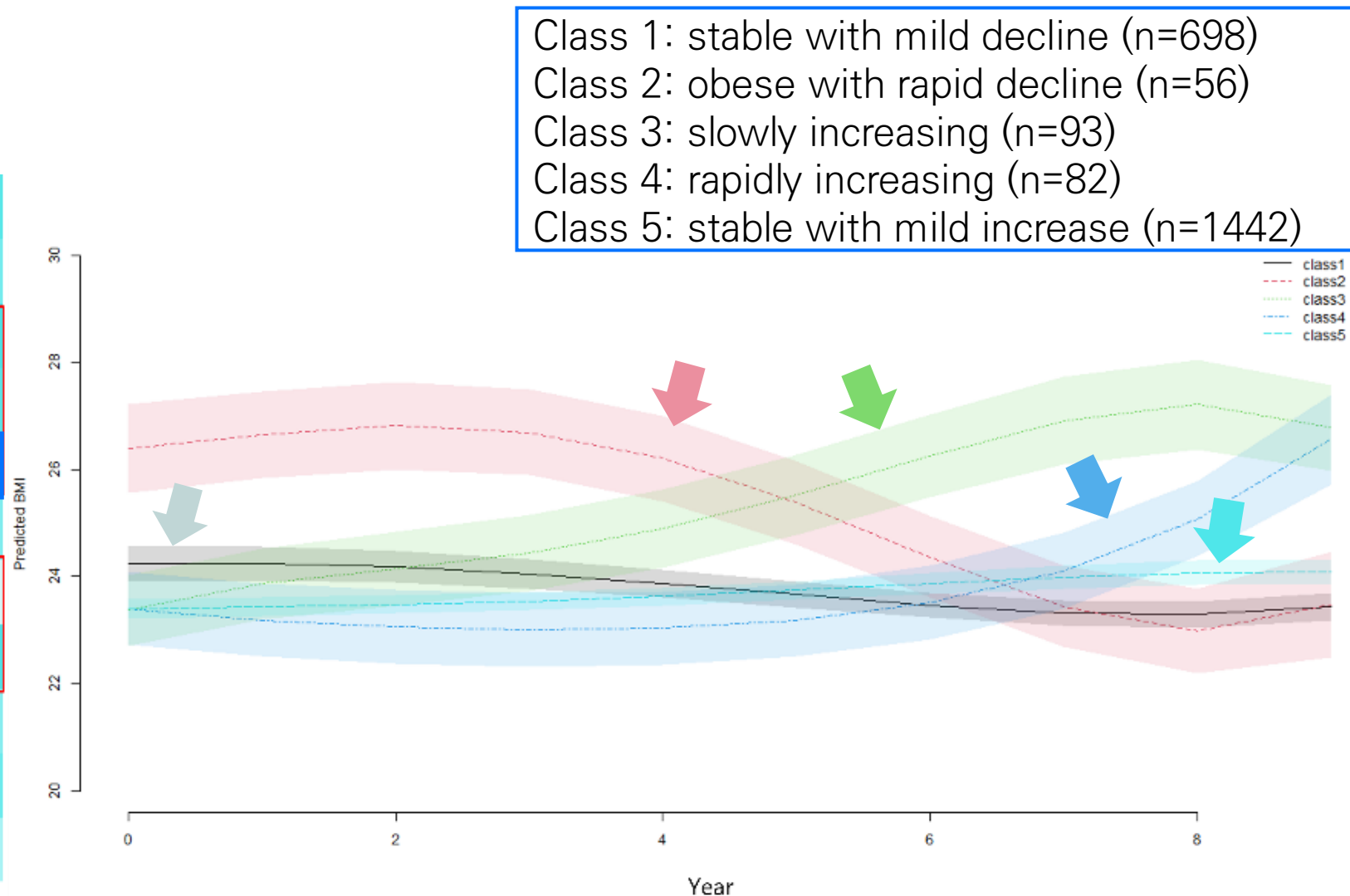
- Latent BMI trajectory: Overview

- 남성: 5개 궤적 계층
 - 여성: 6개 궤적 계층
 - 모형 적합도
 - ✓ 모든 클래스 prevalence >1% (희귀 계층 없음)
 - ✓ 모든 클래스에서 평균 사후확률 ≥ 0.80
 - ➔ 분류 품질 우수
 - ✓ 비선형 항 유의
 - ➔ BMI 궤적의 비선형 패턴을 적절히 포착

Results: Male trajectory classes (5-class model)

〈Distribution of covariates during 10y and BMI trajectory by latent classes in male〉

Age ≥ 65	31.4	27.7	15.1	26.6	24.1
Over high school education	33.7	33.9	49.5	35.0	36.8
Lower household income	21.2	36.1	17.1	25.2	17.5
Middle household income	43.0	39.1	48.9	46.8	42.4
Upper household income	35.8	24.8	34.0	27.9	40.1
Chronic disease	48.8	45.9	30.6	37.7	41.7
Ever smoker	80.8	85.2	84.3	78.5	81.8
Non smoker	19.2	14.8	15.7	21.5	18.2
Binge drinking	42.9	50.5	50.3	40.9	44.8
Regularly exercise	34.0	31.1	32.6	31.2	32.9
Number of good behavior ≥ 2	61.3	58.4	58.7	60.7	60.7
	1	2	3	4	5

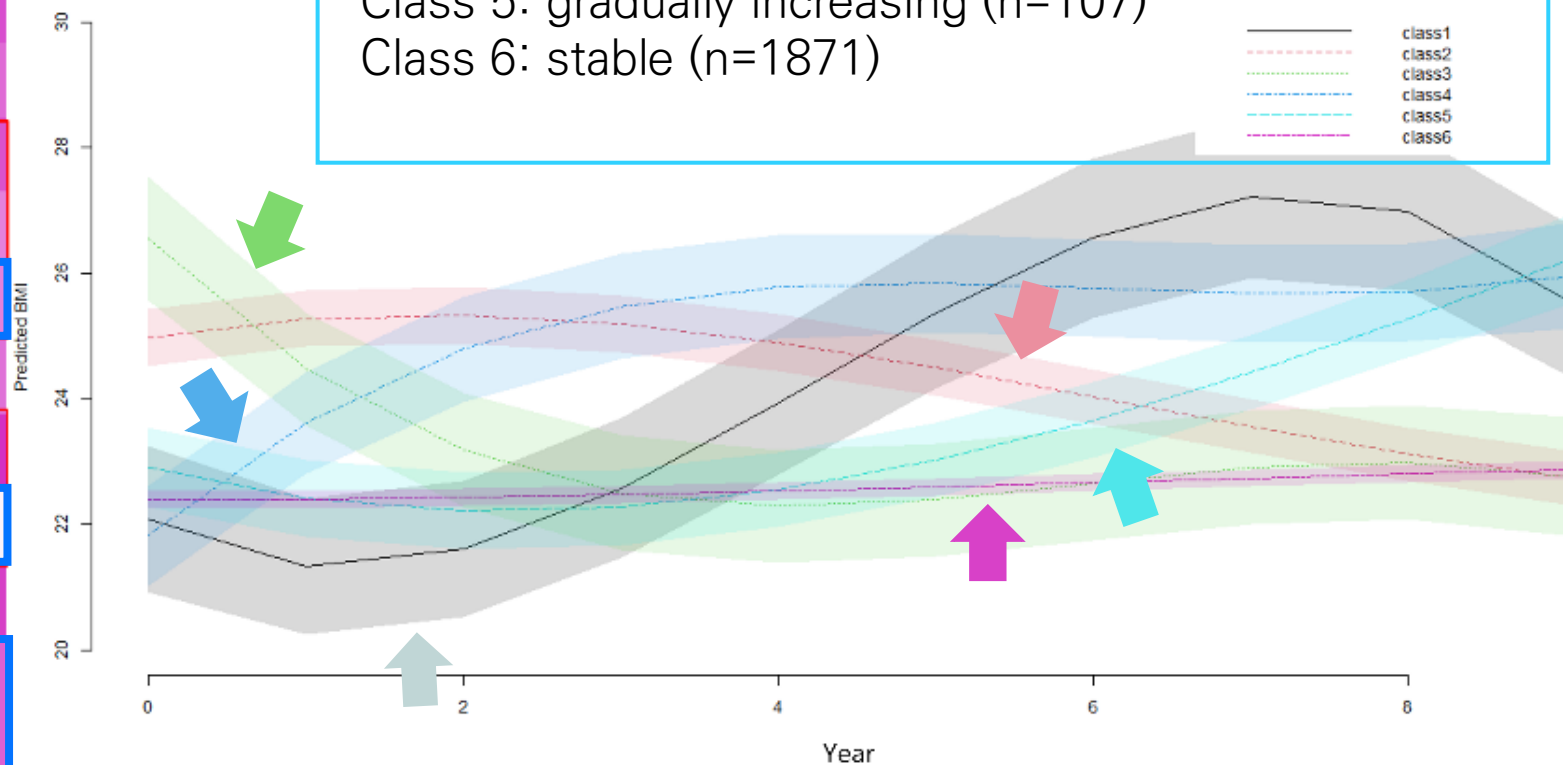


Results: Female trajectory classes (6-class model)

〈Distribution of covariates during 10y and BMI trajectory by latent classes in male〉

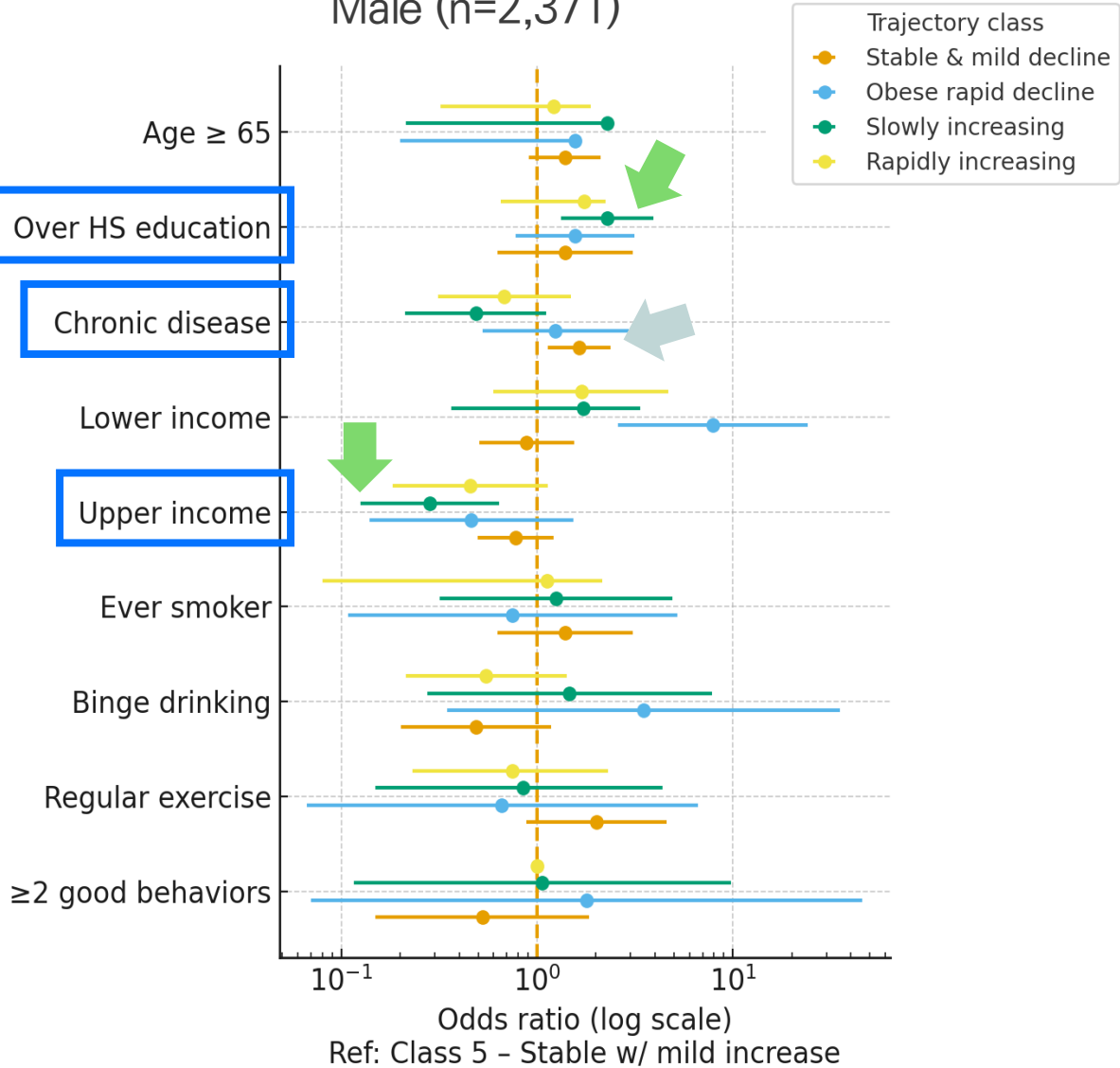
Age ≥ 65	7.1	25.4	21.1	16.6	23.6	16.9
Over high school education	57.1	15.0	31.1	29.6	30.9	30.9
Lower household income	13.6	29.8	27.3	22.4	26.4	18.4
Middle household income	49.6	43.6	51.8	51.4	41.2	41.1
Upper household income	36.8	26.6	20.9	26.1	32.4	40.5
Chronic disease	15.0	47.5	33.8	31.3	35.4	33.2
Ever smoker	17.9	7.0	11.1	9.3	8.1	4.4
Non smoker	82.1	93.0	88.9	90.7	91.9	95.6
Binge drinking	10.7	8.7	14.2	12.6	8.9	9.3
Regularly exercise	16.8	21.9	18.2	22.4	20.1	24.9
Number of good behavior ≥ 2	26.1	24.8	22.0	23.3	22.6	25.4
	1	2	3	4	5	6

Class 1: rapidly increasing (n=28)
 Class 2: gradually declining (n=218)
 Class 3: rapidly declining (n=45)
 Class 4: rapid early increasing with stability (n=70)
 Class 5: gradually increasing (n=107)
 Class 6: stable (n=1871)

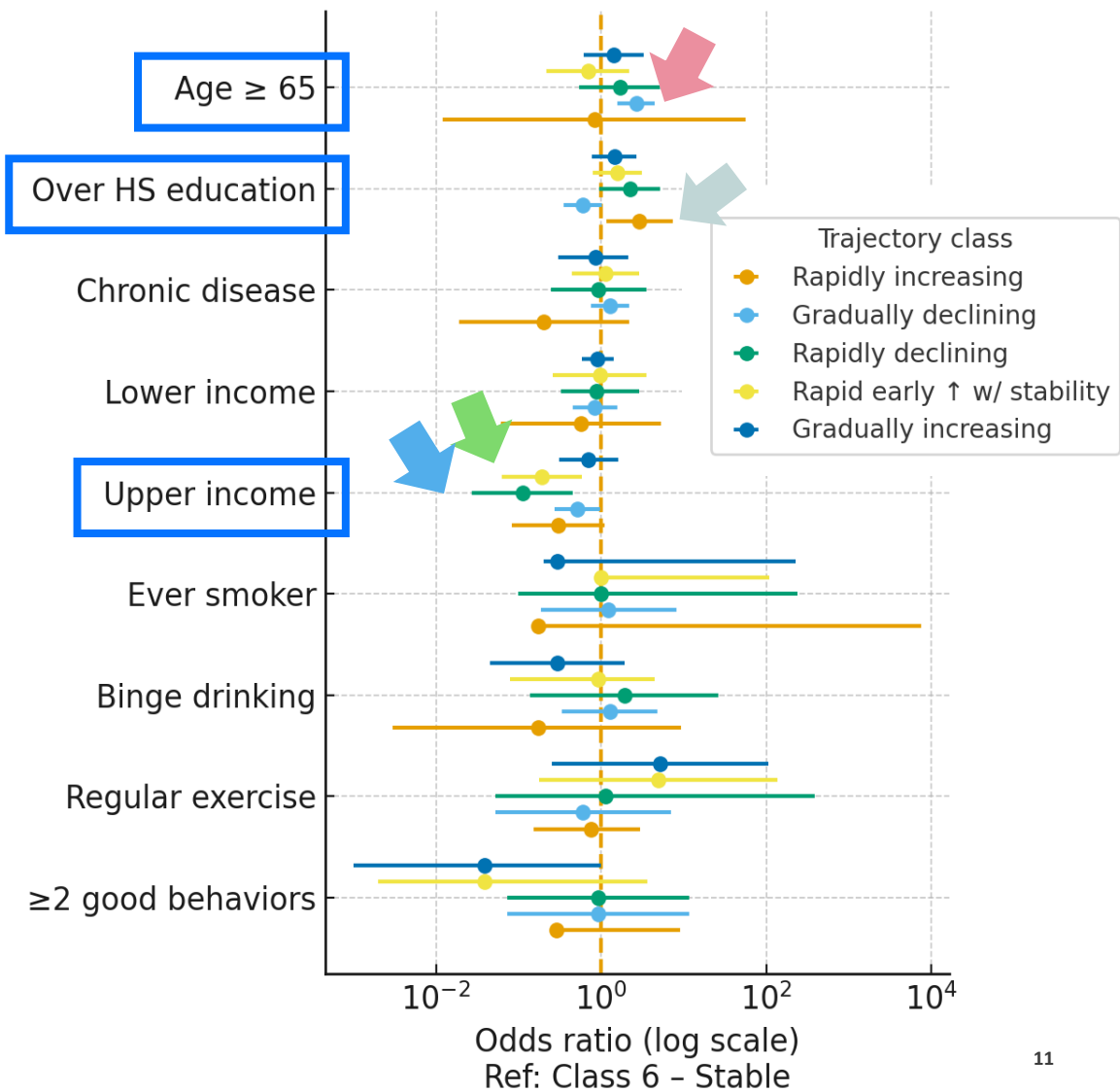


Results: Determinants of class membership (Two-stage model)

Male (n=2,371)



Female (n=2,336)



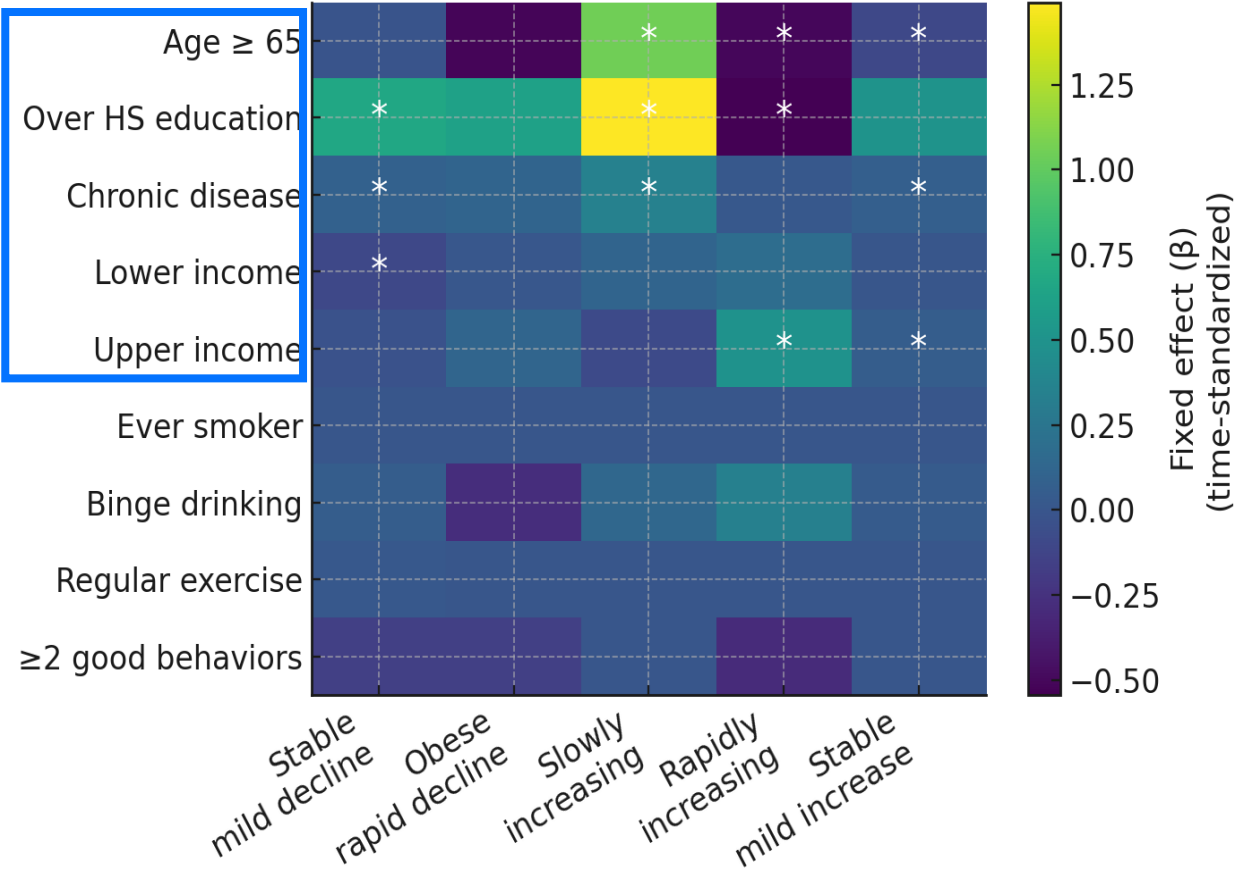
Results: SES & health behaviors: Effects on mean BMI

- 전체적으로 SES 관련 변수는 건강행동 변수보다 평균 BMI 와 더 일관된 연관성
- ➔ 건강행동 효과는 제한적이지만, 만성질환 유무와 SES는 모든 성별에서 BMI 수준과 뚜렷하게 연결됨

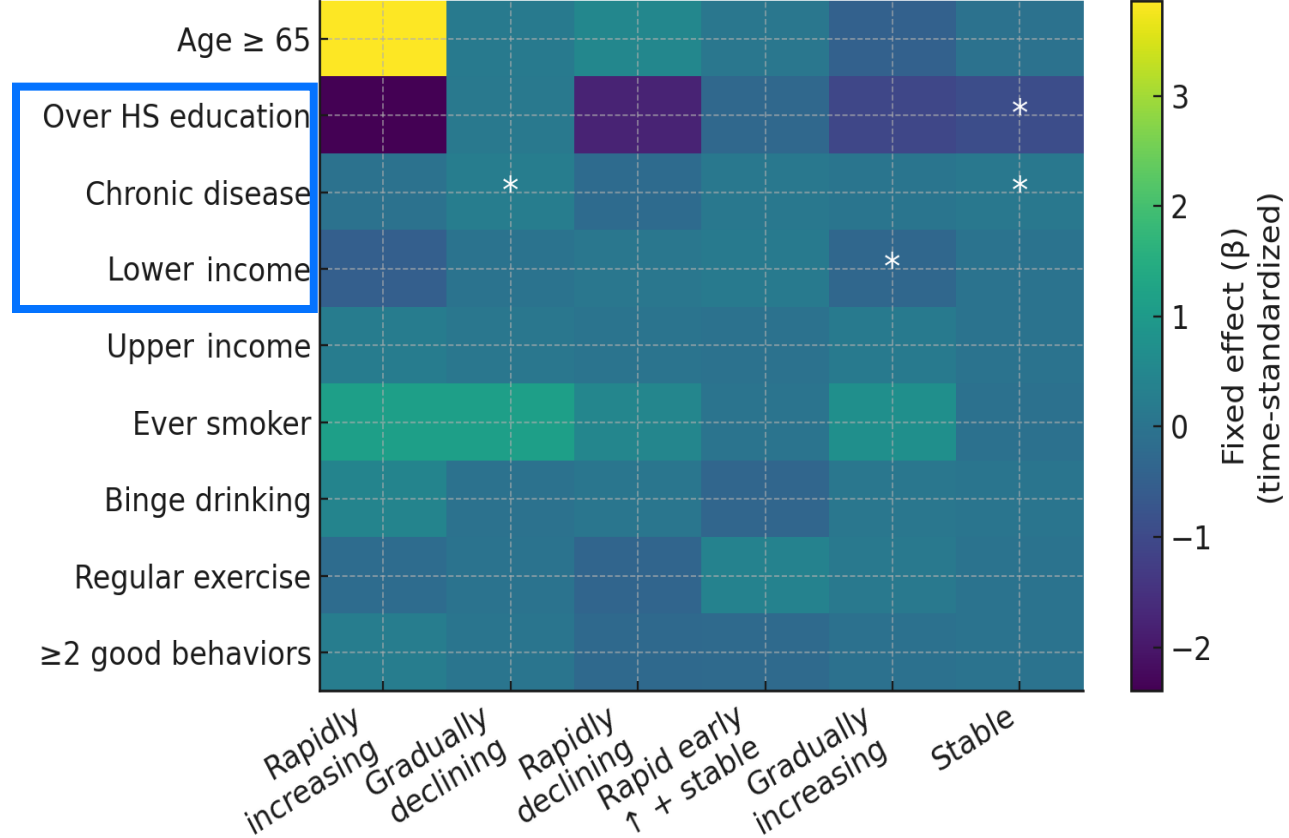
Variables	Male		Female	
	Coefficient	p-value	Coefficient	p-value
class 1	0.03	(0.797)	1.49**	(0.003)
class2	1.226**	(<.01)	1.94**	(<.01)
class3	1.965**	(<.01)	1.416**	(<.01)
class 4	0.175	(0.538)	1.777**	(<.01)
class 5	Ref		0.751**	(0.005)
class 6	-		Ref	
Age ≥ 65	-0.135**	(0.003)	0.004	(0.943)
Over high school education	0.27**	(0.006)	-1.013**	(<.01)
Chronic disease	0.101**	(<.01)	0.134**	(<.01)
Lower household income	-0.031	(0.249)	-0.036	(0.225)
Upper household income	0.028	(0.200)	-0.035	(0.149)
Ever smoker	-0.02	(0.677)	0.137	(0.096)
Binge drinking	0.052*	(0.033)	0.021	(0.558)
Regularly exercise	-0.001	(0.954)	-0.007	(0.898)
Number of good behaviors ≥ 2	-0.024	(0.407)	-0.035	(0.504)

Results: Within-class heterogeneity

Within-Class Effects of Covariates on Mean BMI (Men)



Within-Class Effects of Covariates on Mean BMI (Women)



- 계층별로 공변량 효과가 상이 -> 궤적에 따라 SES, 연령 효과 상이
- 만성질환, 교육, 소득은 일부 계층에서 평균 BMI와 유의하게 연관

- 계층 내 변동성은 남성보다 작지만, 여전히 SES가 건강행동보다 BMI에 더 큰 영향
- 교육, 소득, 만성질환의 효과 차이 관찰

→ BMI 궤적에 따라 위험 프로파일이 달라지는 계층적 구조 확인

Discussion

- 10년 패널에서 BMI에 LCGM 적용 → 성별로 상이한 궤적 구조 확인
 - 남성: 5개 classes, 경미한 증가형/감소형 안정 궤적이 대부분
 - 여성: 6개 classes, 경미한 감소를 동반한 안정 궤적이 대다수
- 2단계 LCGM & 시간 표준화 LMM 결과
 - SES가 건강행태보다 평균 BMI와 궤적 소속에 더 강하고 일관된 영향
 - 만성질환은 성별과 궤적에 무관하게 높은 BMI와 지속적으로 연관
 - 교육, 소득 연령 효과는 궤적 계층에 따라 방향과 크기가 다름

- 기존 연구: BMI 궤적과 골다공증, 심혈관질환, 당뇨병, 고혈압, 신장질환, 암 등과의 연관성 제시
- 본 연구의 기여
 - 단일 시점 BMI 대신, 궤적의 방향과 형태를 고려
 - LCGM+LMM로 "어떤 궤적이 존재하는가?"뿐 아니라 "해당 궤적에 누가 속하고, 그 안에서 누가 더 높은 BMI를 가지는가?"까지 분석
 - 성별 및 계층별 이질성을 동시에 반영한 실증분석

Discussion

- SES-BMI 관계 패턴
 - 계층 간 공통 경향
 - ✓ 고령 비율 ↑ → 만성질환 ↑ → 대체로 감소형 궤적
 - ✓ 교육 또는 저소득 → 감소형 궤적
 - 계층 내 차이
 - ✓ 만성질환: 거의 모든 질환에서 BMI 증가 요인, 다만 크기는 상이
 - ✓ 저소득: 일부 감소형 궤적에서 낮은 BMI와 연관
 - ✓ 교육 수준 효과는 성별, 궤적 조합에 따라 상반 (남성: 고학력-BMI 증가/여성:고학력-BMI 감소)
 - 시사점
 - ✓ BMI 궤적은 SES와 건강 상태가 맞물린 결과이며, 같은 BMI라도 궤적에 따라 위험도가 달라짐

- Strengths
 - 전국 대표 10년 패널 데이터 활용
 - LCGM (2 stage) + LMM 을 사용
 - ✓ 집단수준 이질성과 개인수준 변이를 함께 반영
 - ✓ 궤적 분류+결정요인 분석을 통합적으로 수행
 - 성별을 분리하여 남녀 간 BMI 요인 차이를 구조적으로 제시

- Limitation
 - BMI는 자가보고 값이며, 체지방 분포와 근육량 반영 한계
 - 비모수 궤적 모형
 - ✓ 초기값과 지역해(local minimum)에 민감
 - ➔ 다중 초기값, greedy search, 충분한 반복으로 완화 시도
 - ✓ 관찰자료 기반, 인과 추론 제한
 - ➔ SES-BMI-건강결과 간 경로는 향후 인과 모형 필요

Discussion

- Policy & Clinical implications

- SES는 쉽게 파악가능
 - ✓ 저소득, 저학력, 만성질환 집단 → 고위험 궤적 후보
- 궤적 기반 평가
 - ✓ 같은 BMI라도 누적 패턴이 다른 집단을 구분 → 맞춤형 개입 타겟 설정 가능
 - ✓ 남성: 저교육, 저소득
 - ✓ 여성: 고령, 저소득+급격 변화 궤적에 주의
- 비만과 SES 간 악순환을 고려한 장기적 정책의 필요성 강조
 - ✓ 식이, 신체활동 환경, 도시계획 등

- Conclusion

- 궤적기반접근은 BMI 변화의 방향, 패턴과 SES/건강행동/만성질환의 복합 작용을 드러내 단일 시점 BMI보다 더 정밀한 위험 평가를 가능하게 함
- 본 연구는 성별에 따른 BMI 궤적 구조를 제시하고, SES가 건강행태보다 BMI 수준 및 궤적 소속에 더 강하게 작용함을 확인
- 향후 연구
 - ✓ SES → BMI 궤적 → 건강 결과로 이어지는 인과 경로 규명
 - ✓ 궤적 기반 표적 개입의 효과 평가 및 정책 설계

감사합니다