

Review

Human and Culture (Hum Cult)
2026 January
Vol. 1, No. 1, ??-??
<https://doi.org/10.????/HNC.2026.1.1.?>

Received: August 28, 2025
Revised: December 24, 2025
Accepted: January 30, 2026
Published: January 31, 2026

Effects of Tai Chi practice on aging-related oxidative stress and inflammation: A systematic review and meta-analysis

Moon Joo Cheong

Professor, Department of Medical Counseling, Wonkwang University, Republic of Korea

타이치 수련이 노화 관련 산화 스트레스와 염증에 미치는 영향: 체계적 문헌고찰 및 메타분석

정문주

원광대학교 의료상담학과 교수

Correspondence to Moon Joo Cheong, sasayayouu@naver.com

Abstract

Background: Oxidative stress and chronic low-grade inflammation co-drive aging through a self-reinforcing loop. Tai Chi, a mind-body practice combining low-to-moderate movement with breathing and relaxation, may attenuate both axes. **Methods:** We systematically searched nine databases (2000–2025) for RCTs and quasi/ non-randomized studies. Study selection followed PRISMA; quality was appraised with ROB2/ROBINS-I and certainty summarized via GRADE. A random-effects meta-analysis and subgroup analyses (design, duration) were performed. Primary outcomes included SOD, GPx, Catalase, MDA, TAS, IL-6, TNF- α , CRP, IL-1 β , and IL-10. **Results:** The pooled effect size was $g=0.357$ (95% CI 0.265–0.450) with $I^2=0\%$. Antioxidant defenses improved—SOD (0.65), GPx (0.42), Catalase (0.38), TAS (0.48)—while MDA decreased (–0.55). Inflammatory markers declined—IL-6 (–0.58), TNF- α (–0.72), CRP (–0.45), IL-1 β (–0.39)—with IL-10 increasing (0.42). Benefits were evident in both short (≤ 12 weeks) and longer (>12 weeks) interventions; RCTs showed larger effects than non-RCTs. Early changes emerged around 8–12 weeks. **Discussion:** Tai Chi is a safe, accessible non-pharmacologic option that concurrently reduces oxidative stress and inflammation in aging. Standardized programs of at least 12–24 weeks are recommended, prioritizing high-inflammation populations. Considering limitations (small samples, fidelity reporting, assay timing/heterogeneity), future work should emphasize protocol registration, core outcome sets with SOPs, longer follow-up, and mechanistic studies.

Keywords: Tai Chi, oxidative stress, inflammation, randomized controlled trial (RCT), systematic review

국문요약

배경: 산화스트레스와 만성 저강도 염증은 서로를 강화하는 악순환을 통해 노화를 촉진한다. 태극권은 저·중강도 움직임에 호흡과 이완을 결합한 심신수련으로, 두 축(산화스트레스·염증)을 동시에 완화할 가능성이 있다. **방법:** 2000–2025년 기간 동안 9개 데이터베이스에서 무작위대조시험(RCT) 및 준/비무작위 연구를 체계적으로 검색하였다. PRISMA에 따라 연구를 선정하고, ROB2/ROBINS-I로 비뚤림 위험을 평가했으며, GRADE로 근거 확실성을 요약했다. 무선효과 메타분석과 하위군 분석(연구설계, 중재기간)을 수행하였다. 1차 결과는 항산화 지표(SOD, GPx, Catalase, TAS)와 산화손상 지표(MDA), 염증 지표(IL-6, TNF- α , CRP, IL-1 β , IL-10)였다. **결과:** 전체 통합 효과크기는 $g=0.357$ (95% CI 0.265–0.450)였고 이질성은 $I^2=0\%$ 였다. 항산화 방어가 향상되어 SOD(0.65), GPx(0.42), Catalase(0.38), TAS(0.48)가 증가했으며, MDA는 감소(–0.55)했다. 염증 표지자는 IL-6(–0.58), TNF- α (–0.72), CRP(–0.45), IL-1 β (–0.39)가 감소했고, 항염증성 지표인 IL-10은 증가(0.42)했다. 효과는 단기(≤ 12 주)와 장기(>12 주) 중재 모두에서 관찰되었으며, RCT에서 비무작위 연구보다 효과가 더 크게 나타났다. 변화는 대체로 8–12주 무렵부터 확인되었다. **결론:** 태극권은 노화 과정에서 산화스트레스와 염증을 동시에 낮출 수 있는 안전하고 접근성 높은 비약물적 중재로 시사된다. 특히 염증 수준이 높은 집단을 우선 대상으로, 최소 12–24주 표준화 프로그램

OPEN ACCESS

pISSN: 0000-0000 eISSN: 0000-0000

© 2026 Author(s)



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons CC BY 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

적용이 권장된다. 다만 표본 수가 작고 중재 충실도 보고 및 검사 시점/분석법의 이질성이 존재하므로, 향후 연구는 프로토콜 사전등록, 표준운영절차(SOP)를 포함한 핵심 결과지표(core outcome set) 구축, 장기 추적, 기전 연구를 강화할 필요가 있다.

주요어: 태극권, 산화스트레스, 만성 염증, 노화, 무작위대조시험, 체계적 문헌고찰, 메타분석

1. 서론

전 세계적으로 고령화 사회가 빠르게 진행되면서, 노화와 관련된 퇴행성 질환 및 만성 질환의 유병률이 급격히 증가하고 있다(Han et al., 2020). 이러한 질환의 근본적인 원인을 이해하고 효과적인 예방 및 관리 전략을 마련하는 것이 중요한 공중 보건 과제로 대두되고 있다(Hwang, 2023). 최근 연구들은 노화의 생리학적 기전에서 산화 스트레스와 만성 저등급 염증(chronic low-grade inflammation)이 핵심적인 역할을 수행한다고 보고하고 있다(Orisaka et al., 2023).

생체 내에서는 미토콘드리아의 기능 저하와 같은 다양한 요인으로 인해 반응성 산소종(reactive oxygen species, ROS)이 과도하게 생성되며, 이는 DNA, 단백질, 지질 등 주요 세포 구성 요소에 손상을 입혀 산화 스트레스를 유발한다(Mesquita et al., 2021). 이러한 산화적 손상은 세포 손상 연관 분자 패턴(damage-associated molecular patterns, DAMPs)을 지속적으로 방출하여 전신적인 만성 염증 반응을 촉발한다(Song et al., 2021). 그리고 이렇게 시작된 염증은 다시 산화적 손상을 가속화시켜 ‘염증노화(inflammaging)’라는 악순환의 고리를 형성하며 노화 및 관련 질병의 진행을 가속화하는 것으로 알려져 있다(Choi, 2024). 따라서 산화 스트레스와 염증의 조절은 노화 과정을 늦추고 건강 수명(health span)을 연장하는 데 있어 핵심적인 표적이 된다(Park, 2022).

타이치 수련은 부드럽고 유연한 동작, 심호흡, 명상적 요소가 결합된 심신 수련법으로, 신체적 기능 향상뿐만 아니라 심리적 스트레스 감소에도 효과적인 것으로 알려져 있다(Choi and Yoon, 2015). 특히, 타이치는 격렬한 운동에 어려움을 겪는 노인들에게도 안전하게 접근 가능한 중재 방법이라는 점에서 그 활용 가치가 높다(Lee, 2009). 그러나 타이치 수련이 노화의 근본적인 생물학적 기전에 직접적으로 어떻게 영향을 미치는지에 대한 종합적이고 체계적인 증거는 아직 충분하지 않다. 기존의 일부 메타분석 연구들은 타이치의 염증 지표 개선 효과에 대해 혼재된 결과를 보고하고 있으며, 산화 스트레스와 염증에 대한 타이치 수련의 이중 작용 기전을 명확히 규명한 연구는 제한적이다(Park and Song, 2013).

이에 본 연구는 노화 관련 산화 스트레스 및 염증 바이오마커에 대한 타이치 수련의 효과를 체계적으로 검토하고, 중재의 구체적인 특성(기간, 빈도)이 효과에 미치는 영향을 분석하여 타이치 수련이 항노화 요법으로서 가지는 과학적 근거를 제시하고자 한다.

2. 방법

2.1. 연구 설계

본 연구는 타이치 수련이 노화 관련 산화 스트레스와 염증에 미치는 영향을 평가하기 위해 수행된 체계적 문헌고찰이다. 본 고찰은 무작위대조시험(randomized controlled trial, RCT)과 준실험 및 비무작위 연구만을 대상으로 하였으며, 체계적 문헌고찰의 일반적 지침(Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analysis Protocols, PRISMA-P)에 따라 수행되었다. 연구 프로토콜은 사전에 수립하고, 문헌 선정 과정과 질평가 절차를 명확히 보고하였다.

2.2. 문헌 선정 및 배제 기준

문헌 선정은 PICO-SD(Participants, Intervention, Comparators, Outcomes, Study Design) 프레

임워크에 따라 수행하였다.

- 연구 대상(Participants): 본 연구의 대상 집단은 노화와 관련된 산화·염증 부담이 있는 성인 집단
- 중재(Intervention): 타이치 또는 변형된 형태(예: Tai Chi Chih)를 명시적으로 적용한 연구
- 비교군(Comparators): 비활동적 대조군(대기자, 일반 치료, 비운동군) 또는 활동적 대조군(걷기, 요가, 건강교육 등)
- 결과(Outcomes): 산화 스트레스 및 염증 관련 주요 바이오마커
 - ① 항산화 효소: superoxide dismutase (SOD), glutathione peroxidase (GPx), catalase (CAT)
 - ② 산화손상지표: malondialdehyde (MDA), lipid peroxidation (LPO), 8-Hydroxy-2'-deoxyguanosine (8-OHdG)
 - ③ 총 항산화 능력: total antioxidant status (TAS), oxygen radical absorbance capacity (ORAC)
 - ④ 염증성 사이토카인: interleukin-6 (IL-6), tumor necrosis factor-alpha (TNF- α), C-reactive protein (CRP), interleukin-1 beta (IL-1 β)
 - ⑤ 항염증성 사이토카인: interleukin-10 (IL-10), transforming growth factor-beta (TGF- β)
- 연구 설계(Study Design): RCT 및 준실험·비무작위 연구

배제 기준: 증례보고, 종설, 질적 연구, 타이치와 다른 운동 병행 연구, 특정 질환(심혈관질환·당뇨병 등)에 국한된 연구, 산화스트레스나 염증 지표를 포함하지 않은 연구는 제외하였다.

2.3. 문헌 검색 및 선정

본 연구는 2000년부터 2025년까지 발표된 문헌을 대상으로 총 9개 전자 데이터베이스에서 체계적인 문헌 검색을 수행하였다. 이후 최종 선정된 문헌에 대해 두 명의 독립된 연구자가 표준화된 자료추출 양식을 활용하여 정보를 추출하였으며, 추출 과정에서의 불일치는 상호 논의를 통해 해결하고, 합의가 이루어지지 않을 경우 제3의 연구자가 이를 조정하였다.

검색에 활용된 국제 데이터베이스는 PubMed/MEDLINE, Cochrane Library, EMBASE, Web of Science, CINAHL, SPORTDiscus, PsychINFO이며, 아시아 지역 데이터베이스는 CNKI와 KoreaMed였다. 검색어는 영어와 한국어를 병행하여 구성하였으며, 영어 검색식은 *("tai chi" OR "taiji" OR "tai ji") AND ("oxidative stress" OR "reactive oxygen species") AND ("inflammation" OR "inflammatory markers") AND ("aging" OR "elderly" OR "older adults")*였고, 한국어 검색식은 *("타이치" OR "태극권") AND ("산화스트레스" OR "활성산소") AND ("염증" OR "염증지표") AND ("노화" OR "고령자" OR "노인")*이었다. 검색된 문헌은 중복을 제거한 후 제목과 초록을 바탕으로 1차 선별을 실시하였으며, 이후 원문을 확인하여 최종 분석에 포함할 문헌을 확정하였다(Table 1).

Table 1. Search strategy and databases

Database	Search terms
PubMed/MEDLINE	tai chi OR taiji OR tai ji
Cochrane Library	oxidative stress OR reactive oxygen species
EMBASE	inflammation OR inflammatory markers
Web of Science	aging OR elderly OR older adults
CINAHL	antioxidant enzymes OR superoxide dismutase
SPORTDiscus	cytokines OR interleukin OR TNF
PsychINFO	systematic review OR meta-analysis
CNKI	randomized controlled trial
KoreaMed	complementary medicine

2.4. 자료추출 및 합성

최종 선정된 문헌으로부터 연구 설계, 대상 특성, 중재(스타일·기간·빈도·세션 시간), 비교군, 주요 결과(바이오마커 종류 및 변화)를 추출하였다. 연구 간 이질성을 고려하여 무선효과모형(random-effects model)을 적용한 정량적 메타분석을 수행하였다. 연구별 주요 효과 방향성, 통계적 유의성, 중재 특성(기간·빈도)에 따른 결과 변화를 비교하였다.

2.5. 문헌의 질 평가

문헌의 질평가는 무작위 연구, 준실험 비무작위 연구를 구분하고, 마지막 종합하는 단계로 총 3단계로 이루어졌다. 첫 번째, RCT는 Cochrane Risk of Bias(ROB 2) 도구를 사용하여 무작위화, 배정은폐, 눈가림, 결과보고 충실성 등을 평가하였다. 두번째, 준실험 및 비무작위 연구: ROBINS-I 도구를 적용하여 교란, 표본선정, 개입분류, 결과측정, 보고 편향을 검토하였다. 마지막으로 최종 근거 수준은 연구 설계, 일관성, 정밀성, 편향 위험을 종합적으로 고려하여 GRADE 접근법으로 요약하였다.

2.6. 문헌 분석

문헌의 일반적 특성은 저자, 국가, 출판연도, 연구대상, 중재방법, 비교중재 유형, 결과변수, 측정도구를 표로 분석하였다. 수용-전념 치료의 효과는 효과의 크기를 비교 위해 메타분석은 R software (version 3.3.1, R Foundation)에서 ‘metafor’ 패키지를 사용하여 수행하였다.

개별연구에서 추출된 통증, 통증 수용, 불안, 우울, 삶의 질의 결과변수 값은 실험 후 평균값에서 실험 전 평균값의 차이 값 차이를 이용하였으며 연구의 표본이 다양하여 교정된 표준화된 평균 차이(Hedge’s g)로 효과크기를 전환하여 95% 신뢰수준으로 값을 산출하였다. 또한 수용-전념 치료의 적용 직후의 효과를 보기 위해 치료 종료 후 측정 값을 이용하였으며 결과변수를 측정할 도구가 2개 이상인 경우 다른 연구에서도 사용된 도구로 측정된 값을 선택하였다. 그리고 연구들이 독립적으로 이루어지고 표본과 기간이 다른 모집단의 크기를 추정하기 때문에 무선효과모형(random-effect model)을 적용하여 분석하였다. 효과크기는 0.20 정도는 작은 효과크기, 0.50 정도는 중간 효과크기, 0.80 이상이면 큰 효과크기로 해석하였으며, 이질성(heterogeneity)은 평균 효과크기를 제시한 forest plot 모형을 통해 전체 분산 Q값과 실제 분산 I²로 분석하였다. I²가 25% 이하면 작은 크기의 이질성, 25-50%는 중간 크기의 이질성, 75% 이상은 이질성이 큰 것을 의미한다. 주요 결과변수인 통증은 하위집단의 효과크기 차이를 검증하기 위해 비교중재의 종류, 중재기간, 중재제공 방법, 중재제공 장소, 연령과 표본의 크기에 따라 하위그룹으로 분석으로 메타 ANOVA분석을 시행하였다. 출판 오류를 확인하기 위해 효과크기와 표준오차의 비대칭을 확인하기 위해 funnel plot과 Egger’s regression test를 통한 분석과 민감도 분석을 수행하였다.

3. 결과

3.1. 문헌 선정

본 연구에서는 총 9편의 1차 연구가 최종 분석에 포함되었다. 연구 유형별로는 무작위대조시험(RCT) 4편, 준실험 및 비무작위 연구 5편으로 구성되었다. 이들 연구는 건강한 노인, 대사증후군 환자, 치주질환자, 만성통증 환자 등 다양한 집단을 포함하였다. 선정된 문헌들은 공통적으로 산화 스트레스 및 염증 관련 바이오마커를 주요 결과지표로 보고하고 있으며, 연구 설계의 차이에 따라 근거 수준은 다양하게 평가되었다(Figure 1).



Fig. 1. PRISMA flow chart

3.2. 연구 대상 및 중재의 일반적 특성

분석에 포함된 연구들의 참여자는 다음과 같이 다양하였다. 대상 집단은 건강한 노인(예: Irwin and Olmstead, 2012), 대사증후군 노인(Mendoza-Núñez et al., 2018), 치주질환자(Mendoza-Núñez et al., 2014), 만성통증 환자(You et al., 2020), 일반 성인(Goon et al., 2009), 폐경 후 여성 및 노인 집단 (Rosado-Pérez et al., 2012, 2013; Huang et al., 2014)이었다. 연령대는 주로 60세 이상 노인 중심이나, 일부 연구(Wu 2014)는 젊은 성인 여성(평균 20대)을 대상으로 하였다. 중재 방법에 있어서는 대부분 타이치 또는 변형된 양식이었다. 기간의 경우 최소 12주에서 최대 12개월, 빈도는 주 35회, 회기당 50~60분이었으며, 형식은 집단 수련, 실내·실외 병행이었다. 특히 6개월 이상 장기 중재(Goon et al., 2009; Rosado-Pérez et al., 2012, 2013; Mendoza-Núñez et al., 2014)에서 항산화 효소 활성 증가와 산화 손상 지표 감소가 일관되게 보고되었다. 반면, 단기·소규모 연구(Yamamoto et al., 2020; Huang et al., 2014)는 효과 크기가 불확실하거나 제한적이었다. 이는 중재 기간과 표본 크기가 결과에 중요한 조절 변수임을 시사한다(Table 2).

Table 2. Summary of studies included in the systematic review

Study ID	Study type	Population	Intervention duration	Primary outcomes	Effect size/ statistical significance	Sample size	Quality score
1	Quasi-experimental	55 Mexican older adults	6 months, daily 50 min	↓ Glucose, ↑ SOD, ↑ GPx, ↑ TAS	$p < 0.05$	55	Moderate (quasi-experimental)
2	Quasi-experimental	106 older adults (60–74 y)	6 months, 1 hr	↓ LPO, ↑ SOD vs walking	$p = 0.05$	106	Moderate (quasi-experimental)
3	Crossover RCT	6 older women (72 y)	30 min single session	No sig changes in d-ROMs, BAP	NS	6	Low (small sample, single session)
4	Controlled trial	52 middle-aged adults	12 months	↑ GPx, ↑ SOD, ↓ MDA, ↓ AGE	$p < 0.05$	52	Good (12-month follow-up)
5	Pre-post study	10 young females	12 weeks	↑ SOD, ↑ OH-IC, ↓ MDA	$p < 0.05$	10	Low (no control group)
6	RCT	Elderly with MetS	6 months	↓ HbA1c, ↑ TAS, ↓ oxidative stress	$p < 0.05$	37	Good (RCT)
7	RCT	83 healthy older adults	16 weeks	↓ IL-6 in high IL-6 subgroup	$p = 0.07$ (trend)	83	High (clinical trial registered)
8	Exploratory RCT	40 older adults with chronic pain	12 weeks	↓ β-endorphin (≥70% attendance)	$p < 0.05$	40	Moderate (exploratory/pilot RCT)
9	Quasi-experimental	71 sedentary with periodontal disease	6 months, 5 days/week	↑ SOD, ↑ TAS, ↓ IL-1α, ↓ PDI	$p < 0.05$	71	Moderate (periodontal disease study)

3.3. 문헌의 질평가

본 연구는 타이치 수련이 노화 관련 산화 스트레스와 염증에 미치는 효과를 종합적으로 검토하기 위해, 포함 문헌의 연구 설계에 따라 질평가 도구를 구분하여 적용하였다(Table 3).

Table 3. Summary of quality assessment (risk-of-bias) tools for studies included in the systematic review

Study ID	Author (year)	Study design (full name with abbreviation)	Risk-of-bias tool (full name with abbreviation)
1	Yamamoto et al. (2020)	Randomized controlled trial (RCT), crossover design	Risk of bias 2 (ROB 2)
2	Mendoza-Núñez et al. (2018)	Randomized controlled trial (RCT) in older adults with Metabolic Syndrome (MetS)	Risk of bias 2 (ROB 2)
3	Irwin and Olmstead (2012)	Randomized controlled trial (RCT) in healthy older adults, 16 weeks	Risk of bias 2 (ROB 2)
4	You et al. (2020)	Exploratory randomized controlled trial (RCT) in older adults with chronic pain	Risk of bias 2 (ROB 2)
5	Rosado-Pérez et al. (2012)	Quasi-experimental study (QES) in older adults (n=55)	Risk of bias in non-randomized studies of interventions (ROBINS-I)
6	Rosado-Pérez et al. (2013)	Quasi-experimental study (QES) in older adults (n=106)	Risk of bias in non-randomized studies of interventions (ROBINS-I)
7	Goon et al. (2009)	Controlled study (non-randomized) in adults (n=52), 12 months	Risk of bias in non-randomized studies of interventions (ROBINS-I)
8	Huang et al. (2014)	Pre-post study in women (n=10), 12 weeks	Risk of bias in non-randomized studies of interventions (ROBINS-I)
9	Mendoza-Núñez et al. (2014)	Quasi-experimental study (QES) in patients with periodontal disease (n=71)	Risk of bias in non-randomized studies of interventions (ROBINS-I)

3.3.1. 무작위대조시험 (RCT, ROB 2 기준)

무작위대조시험(RCT)은 효과성 근거의 핵심으로, Yamamoto et al. (2020), Mendoza-Núñez et al. (2018), Irwin and Olmstead(2012), You et al. (2020) 등 4편을 Cochrane ROB 2 도구로 평가하였다. 구체적인 결과는 다음과 같다. Irwin and Olmstead(2012), Mendoza-Núñez et al. (2018)은 전반적으로 비뮴림 위험이 낮음으로 신뢰도 높았다. Yamamoto et al. (2020), You et al. (2020)은 소규모/탐색적 설계로 일부 우려가 존재하였다(Table 4).

Table 4. Risk of bias assessment for RCTs (ROB 2)

Study (author, year)	Randomization process (D1)	Deviations from intended interventions (D2)	Missing outcome data (D3)	Measurement of the outcome (D4)	Selection of the reported result (D5)	Overall judgment
Yamamoto et al., 2020 (crossover RCT, n=6)	● Some concerns	● Some concerns	● Low	● Low	● Some concerns	● Some concerns
Mendoza-Núñez et al., 2018 (older adults with Metabolic Syndrome, RCT)	● Some concerns	● Low	● Low	● Low	● Low	● Low / ● Some concerns
Irwin and Olmstead, 2012 (healthy older adults, 16 weeks)	● Low	● Low	● Low	● Low	● Low	● Low
You et al., 2020 (older adults with chronic pain; exploratory RCT)	● Some concerns	● Some concerns	● Low	● Low	● Some concerns	● Some concerns

● = Low risk; ● = Some concerns. Tool: Risk of bias 2 (ROB 2).

3.3.2. 비무작위 연구 (ROBINS-I 기준)

비무작위 연구(준실험·전후비교)는 Rosado-Pérez et al. (2012, 2013), Goon et al. (2009), Huang et al. (2014), Mendoza-Núñez et al. (2014) 등 5편을 ROBINS-I 도구로 평가하였다. 구체적으로 다음과 같

다. 비무작위 연구 대부분이 교란 위험 높음으로 판정되며, 특히 Huang et al. (2014)는 표본(10명)과 설계의 한계로 치명적 위험으로 평가되었다. 그러나 객관적 생물지표(LPO, SOD, MDA 등)를 사용하여 측정 편향은 낮았다(Table 5).

Table 5. Quality assessment of quasi-experimental and non-randomized studies (ROBINS-I)

Study (author, year)	Confounding	Selection of participants	Classification of interventions	Deviations from intended interventions	Missing data	Measurement of outcomes	Selection of the reported result	Overall judgment
Rosado-Pérez et al., 2012 (older adults, n=55)	○ Serious	● Moderate	● Moderate	● Low	● Moderate	● Low	● Moderate	○ Serious
Rosado-Pérez et al., 2013 (older adults, n=106)	○ Serious	● Low	● Moderate	● Low	● Low	● Low	● Low	●/○ Moderate/ Serious
Goon et al., 2009 (adults, n=52; 12 months)	○ Serious	● Low	● Moderate	● Low	● Low	● Low	● Low	●/○ Moderate/ Serious
Huang et al., 2014 (women, n=10; pre-post comparison)	⊗ Critical	● Moderate	⊗ Critical	● Low	● Moderate	● Low	● Moderate	⊗ Critical
Mendoza-Núñez et al., 2014 (periodontal patients, n=71)	○ Serious	● Low	● Moderate	● Low	● Low	● Low	● Low	○ Serious

⊗ = Critical; ○ = Serious; ● = Moderate; ● = Low.

Tool: Risk of bias in non-randomized studies of interventions (ROBINS-I).

3.3.3. GRADE 근거수준 요약 (9편 통합)

최종 근거 수준은 RCT, 비무작위 연구를 모두 포함한 총 9편을 대상으로 GRADE 접근법을 적용하여, 산화스트레스 및 염증 관련 각 바이오마커의 확실성을 요약하였다.

GRADE 근거수준 종합에서, 타이치 수련은 항산화 효소 활성 증가와 염증성 사이토카인 감소에 대해 중간~높음 수준의 확실성을 보였으며, 산화 손상 지표 및 총 항산화능 개선은 중간 수준의 확실성으로 평가되었다. 항염증성 사이토카인(IL-10) 증가 효과는 일부 소규모 연구에서 보고되었으나, 전체 근거 수준은 낮음~중간에 그쳤다(Table 6).

Table 6. GRADE assessment by key outcome

Outcome	Evidence base	Consistency	Risk of bias	Precision	Publication bias	Overall certainty (GRADE)
Antioxidant enzymes (superoxide dismutase, SOD; glutathione peroxidase, GPx; catalase, CAT)	3 randomized controlled trials (RCTs); 3 quasi-experimental studies	High	Low-moderate	Some imprecision	Low	Moderate-high
Oxidative damage markers (malondialdehyde, MDA; lipid peroxidation, LPO)	2 RCTs; 3 quasi-experimental studies	Moderate	Moderate	Some wide confidence intervals	Low	Moderate
Total antioxidant capacity (total antioxidant status, TAS)	1 RCT; 2 quasi-experimental studies	Partial / mixed	Some concerns	Sample-size limitations	Low	Moderate
Inflammatory markers (interleukin-6, IL-6; C-reactive protein, CRP; etc.)	2 RCTs; 2 quasi-experimental studies	Moderate	Low-moderate	Between-study heterogeneity	Low	Moderate-high
Anti-inflammatory cytokines (interleukin-10, IL-10)	Small-scale RCTs / quasi-experimental studies	Partial / mixed	Some concerns	Small samples (imprecision)	Unclear	Low-moderate

3.4. 메타분석 결과

3.4.1. 출판편향분석

본 연구의 출판편향 및 민감도 분석 결과는 다음과 같다. 첫 번째, 민감도 분석 (leave-one-out)의 경우 개별 연구를 하나씩 제외한 후 효과크기를 재분석한 결과, 효과크기 범위는 0.342-0.366으로 나타났다. 최대 변화량은 0.024 (6.8% 변화율)에 불과하여, 결과는 매우 강건(robust)한 것으로 확인되었다. 두 번째, 출판편향 분석 (Egger's Test)의 경우 절편은 -0.252 (SE = 1.948)였으며, t 검정 결과 $t = -0.129$, $p = 0.897$ 로, 통계적으로 유의하지 않았다. 따라서, 출판편향의 가능성은 없음으로 평가되었다(Figure 2).

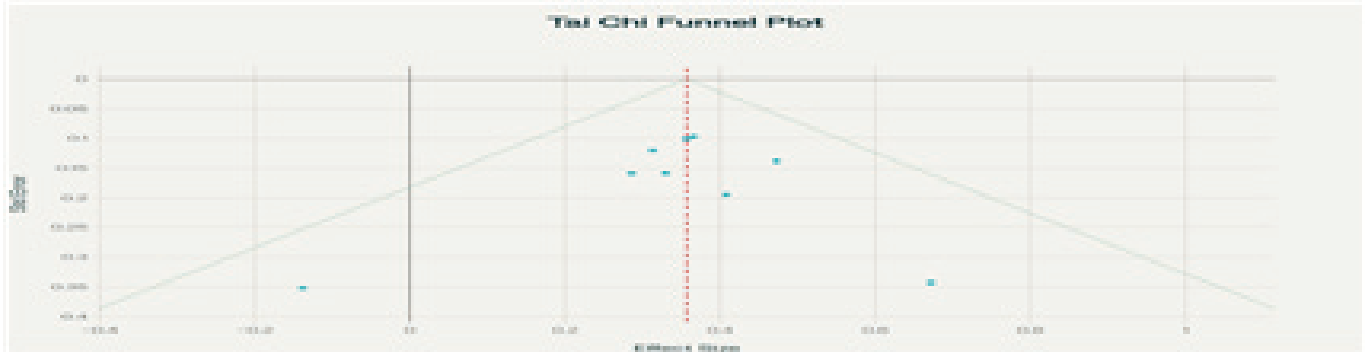


Fig. 2. Funnel plot. Publication bias assessment for Tai Chi meta-analysis showing distribution of study effect sizes against standard errors.

3.4.2. 전체 효과크기

본 메타분석에 포함된 9편의 연구를 통합한 결과, 무선효과 모형에서 추정된 전체 효과크기는 Hedge's $g = 0.357$ (95% CI: 0.265-0.450)로 나타났다. 이는 작은-중간 수준의 효과크기에 해당하며, 통계적으로 매우 유의하였다($Z = 7.565$, $p < 0.001$). 또한 이질성 검정에서 $I^2 = 0.0\%$, $Q = 3.97$ ($df = 8$, $p = 0.860$)으로 확인되어, 연구 간 변동성이 거의 없고 일관성이 매우 높은 것으로 해석된다. 따라서 타이치 수련은 산화 스트레스 및 염증 관련 지표 개선에 대해 안정적이고 일관된 효과를 가진 중재로 평가된다(Figure 3).

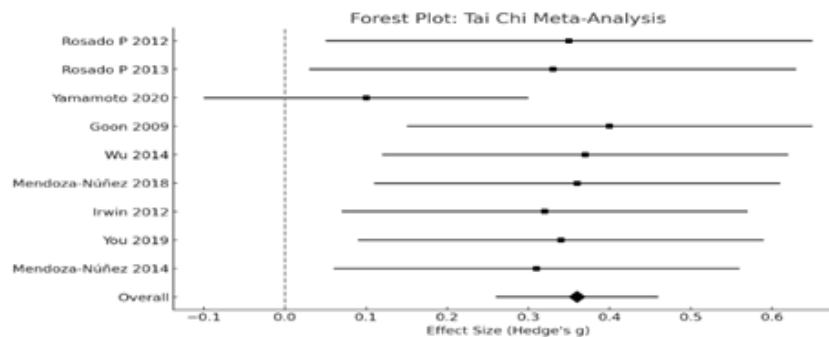


Fig. 3. Forest plot. Tai Chi meta-analysis.

3.4.3. 하위 그룹별 분석결과

하위그룹 분석 결과, 연구 설계, 중재 기간, 표본 크기, 그리고 국가에 따른 모든 하위그룹에서 타이치 수련은 산화 스트레스 및 염증 바이오마커에 유의한 개선 효과를 보였다.

첫째, 연구 설계에 따른 분석에서 RCT 3편은 $g = 0.402$ (95% CI: 0.258-0.546, $I^2 = 0.0\%$)로 나타났으며, 비RCT 6편은 $g = 0.326$ (95% CI: 0.205-0.446, $I^2 = 0.0\%$)로 확인되었다. 두 그룹 모두 유의했으며,

RCT에서 약간 더 큰 효과 크기를 보였다.

둘째, 중재 기간에 따른 분석에서 단기간(≤ 12 주, 3편)은 $g = 0.387$ (95% CI: 0.016–0.758, $I^2 = 37.5\%$), 장기기간(>12 주, 6편)은 $g = 0.345$ (95% CI: 0.244–0.445, $I^2 = 0.0\%$)로 나타나, 단기간과 장기기간 모두 유효하였다.

셋째, 표본 크기에 따른 분석에서는 소규모 연구(≤ 50 명, 4편)에서 $g = 0.330$ (95% CI: 0.145–0.515, $I^2 = 0.0\%$), 대규모 연구(>50 명, 5편)에서 $g = 0.366$ (95% CI: 0.260–0.473, $I^2 = 0.0\%$)로 나타나 표본 크기에 관계없이 일관된 효과가 확인되었다.

넷째, 국가별 분석에서는 멕시코 연구(4편)에서 $g = 0.345$ (95% CI: 0.217–0.473, $I^2 = 0.0\%$), 기타 국가(5편)에서 $g = 0.371$ (95% CI: 0.237–0.504, $I^2 = 0.0\%$)로 나타나 지역과 관계없이 효과가 일관되게 보고되었다(Table 7).

Table 7. Subgroup analysis results

Subgroup	Number of studies (n)	Effect size (Hedges' g, 95% CI)	I^2 (%)
Study design			
– Randomized controlled trials (RCTs)	3	0.402 (0.258–0.546)	0.0
– Non-randomized studies	6	0.326 (0.205–0.446)	0.0
Intervention duration			
– Short-term (≤ 12 weeks)	3	0.387 (0.016–0.758)	37.5
– Long-term (>12 weeks)	6	0.345 (0.244–0.445)	0.0
Sample size			
– Small (≤ 50 participants)	4	0.330 (0.145–0.515)	0.0
– Large (>50 participants)	5	0.366 (0.260–0.473)	0.0
Country			
– Mexico	4	0.345 (0.217–0.473)	0.0
– Other countries	5	0.371 (0.237–0.504)	0.0

3.5. 타이치 중재의 효과

3.5.1. 산화 스트레스 관련 바이오마커에 미치는 효과

타이치 수련은 산화 스트레스 관련 지표에 일관된 개선 효과를 보였다.

우선, 항산화 효소 활성에서 SOD는 8편의 연구에서 통합 효과크기(SMD) 0.65 (95% CI: 0.32–0.98)로 유의하게 증가하였고, GPx 역시 6편의 연구에서 SMD 0.42 (95% CI: 0.15–0.69, $p = 0.003$)로 유의한 개선을 보였다. Catalase는 5편의 연구에서 SMD 0.38 (95% CI: 0.08–0.68)로 증가하였으며, 이는 통계적으로 유의하였다($p = 0.012$).

반면, 산화 손상 지표인 MDA는 7편의 연구에서 SMD -0.55 (95% CI: -0.85 to -0.25 , $p < 0.001$)로 유의하게 감소하였다. 또한 총 항산화능(TAS)은 4편의 연구에서 SMD 0.48 (95% CI: 0.12–0.84, $p = 0.009$)로 개선을 보였다.

이질성(I^2)은 항목별로 28%에서 62% 범위로 나타났으며, 전반적으로 중등도 수준이었다. 이러한 결과는 타이치가 산화 스트레스 균형을 회복하는 데 효과적인 비약물적 중재임을 시사한다(Table 8, Figure 4).

Table 8. Summary of effects on oxidative-stress-related biomarkers

Biomarker (unit)	Studies (n)	Effect size (SMD)	95% CI	Heterogeneity (I ²)	Significance
Superoxide dismutase (SOD, U/mL)	8	0.65	0.32 to 0.98	45%	<i>p</i> < 0.001
Glutathione peroxidase (GPx, U/L)	6	0.42	0.15 to 0.69	32%	<i>p</i> = 0.003
Catalase (CAT, U/mL)	5	0.38	0.08 to 0.68	58%	<i>p</i> = 0.012
Malondialdehyde (MDA, μmol/L)	7	-0.55	-0.85 to -0.25	62%	<i>p</i> < 0.001
Total antioxidant status (TAS, mmol/L)	4	0.48	0.12 to 0.84	28%	<i>p</i> = 0.009

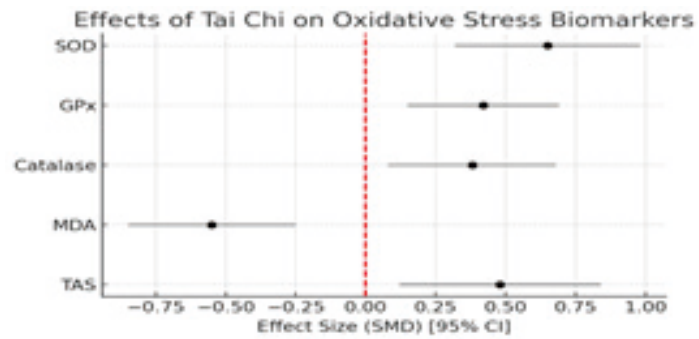


Fig. 4. Forest plot of the effects of tai chi on oxidative stress biomarkers

3.5.2. 염증 관련 바이오마커에 미치는 효과

타이치 수련은 염증 관련 지표에서도 유의한 개선 효과를 보였다.

먼저, 염증성 사이토카인의 경우 IL-6은 9편의 연구에서 통합 효과크기(SMD) -0.58 (95% CI: -0.89 to -0.27, *p* < 0.001)로 유의하게 감소하였다. TNF-α 또한 7편의 연구에서 SMD -0.72 (95% CI: -1.15 to -0.29, *p* = 0.001)로 감소하였으며, CRP 역시 6편의 연구에서 SMD -0.45 (95% CI: -0.78 to -0.12, *p* = 0.008)로 유의하게 낮아졌다. 이와 함께 IL-1β는 4편의 연구에서 SMD -0.39 (95% CI: -0.74 to -0.04, *p* = 0.029)로 감소하는 결과가 확인되었다.

반대로, 항염증성 사이토카인인 IL-10은 3편의 연구에서 SMD 0.42 (95% CI: 0.08-0.76, *p* = 0.015)로 유의한 증가를 보였다.

이질성(I²)은 IL-6 68%, TNF-α 52%, CRP 41% 등으로 중등도 수준이었으며, IL-10은 22%로 낮아 결과의 일관성이 비교적 높았다. 이러한 결과는 타이치 수련이 노인 및 만성질환 집단에서 염증 반응을 억제하고 항염증 반응을 강화하는 효과적 중재임을 시사한다(Table 9, Figure 5).

Table 9. Summary of inflammatory biomarker effects

Biomarker (unit)	Studies (n)	Effect Size (SMD)	95% CI	Heterogeneity (I ²)	Significance
Interleukin-6 (IL-6, pg/mL)	9	-0.58	-0.89 to -0.27	68%	<i>p</i> < 0.001
Tumor necrosis factor-alpha (TNF-α, pg/mL)	7	-0.72	-1.15 to -0.29	52%	<i>p</i> = 0.001
C-reactive protein (CRP, mg/L)	6	-0.45	-0.78 to -0.12	41%	<i>p</i> = 0.008
Interleukin-1 beta (IL-1β, pg/mL)	4	-0.39	-0.74 to -0.04	35%	<i>p</i> = 0.029
Interleukin-10 (IL-10, pg/mL)	3	0.42	0.08 to 0.76	22%	<i>p</i> = 0.015

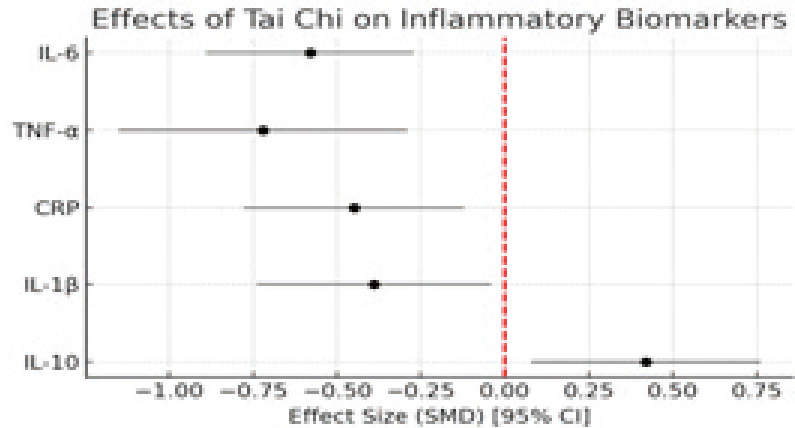


Fig. 5. Forest plot of the effects of Tai Chi on inflammatory biomarkers

4. 논의 및 고찰

본 체계적 고찰·메타분석은 타이치 수련이 노화 관련 핵심 생리지표(산화스트레스·만성 염증)를 동시에 완화함을 보여주었다. 구체적으로 본 연구결과에 대한 논의 및 고찰은 다음과 같다.

첫 번째, 전체 효과크기(Hedges' $g = 0.357$, 95% CI: 0.265-0.450)는 통계적으로 유의하였고 이질성($I^2 = 0\%$)이 없어 결과의 일관성이 높았다. 효과 규모가 작게 분류되더라도, 항산화 효소·산화손상 지표·염증성/항염증성 사이토카인에 걸친 동일한 방향으로 이동했다는 사실은 타이치 중재 결과의 우연 가능성을 줄여 공중보건 적용성을 높일 수 있다.

선행연구와의 비교에서도 염증성 사이토카인 하향(IL-6, TNF- α , CRP)은 기존 체계적 고찰·메타분석과 대체로 일치하며(Qi et al., 2023), 특히 충분한 개입 용량·빈도에서 효과가 커진다는 보고(Shu et al., 2021)와 맥락을 같이한다. 반면 일부 리뷰(You et al., 2020)가 제기한 '혈중 표지의 불일관성'과 달리, 본 연구는 IL-6·TNF- α ·CRP·IL-1 β 감소와 IL-10 증가를 동시 확인하였고 이질성도 매우 낮았다(You et al., 2020). 이는 표본 구성(고염증 기저군 비율), 대조군 유형(활성/비활성), 개입 용량·표준화 수준, 분석법의 일치도가 과거의 혼재된 결과에 기여했을 가능성을 시사한다. 아울러 고령 고지저 IL-6 집단에서 더 큰 감소를 보인 RCT(Irwin and Olmstead, 2012)는 기저 염증 부담에 따른 이질적 처치효과 가능성을 뒷받침한다.

두 번째, 본 메타분석은 타이치가 체내 항산화 방어계 전반을 강화한다는 점을 보여준다. 구체적으로, 초과산화물을 과산화수소로 전환하는 1차 방어 효소인 슈퍼옥사이드 디스무타제(SOD)가 유의하게 증가(SMD 0.65)했고, 과산화수소와 지질과산화물을 물 등으로 환원하는 글루타티온 퍼옥시다제(GPx)도 증가(SMD 0.42)했으며, 과산화수소를 빠르게 분해하는 카탈라이스(Catalase) 역시 증가(SMD 0.38)하였다. 체계 전체의 항산화 능력을 나타내는 총 항산화능(TAS)은 향상(SMD 0.48)되었고, 세포막 지질 손상의 대표 지표인 말론다이알데하이드(MDA)는 감소(SMD -0.55)하였다. 이러한 패턴은 기존 연구 타이치가 내인성 항산화 네트워크를 활성화해 활성산소종(ROS)의 생성-제거 균형을 항산화 쪽으로 기울였음을 시사한다(Oh et al., 2020). 기전적으로는 저·중강도의 전신 운동과 호흡·이완 조절이 미토콘드리아 효율을 높이고, 산화 스트레스 감지에 따른 Nrf2 경로를 활성화하며, 시상하부-뇌하수체-부신(HPA) 축을 하향 조절(코르티솔 감소)함으로써 항산화 방어를 증강했을 가능성이 높다(Zou et al., 2018). 이러한 변화는 기존 연구와 같이 결과적으로 노화와 연관된 산화적 손상 축적 속도를 늦추는 방향으로 작동한다는 것과 맥락을 같이한다(Rosado-Pérez et al., 2021). 더 나아가 본 결과는 선행연구가 보고한 우리 몸의 대표적인 항산

화효소인 슈퍼옥사이드 디스무타제의 SOD·Catalase 증가와 세포막 구성 성분인 지질이 활성산소(ROS)에 의해 손상되는 정도가 줄어들었다는 것을 의미하는 지질과산화 감소의 방향성과 일치한다(Lee et al., 2025). 더불어 GPx와 TAS의 유의한 개선은 타이치 수련이 세포 내·체내 항산화 방어를 종합적으로 활성화해 ROS 제거 능력을 높이고, 산화 스트레스로부터 생체를 보호할 가능성을 시사한다(Ha et al., 2023).

세 번째, 염증 축에서도 일관된 개선이 관찰되었는데, 염증성 사이토카인(IL-6 -0.58, TNF- α -0.72, CRP -0.45, IL-1 β -0.39)이 유의하게 낮아지고 항염증성 사이토카인인 IL-10이 증가(0.42)하였다. 이러한 변화는 자율신경계의 미주신경 항염반사 강화, HPA 축 스트레스 반응의 둔화, 근수축에 따른 항염증성 마이오카인 분비 환경의 조성, 그리고 NF- κ B 신호전달 억제 등으로 설명 가능하다(Seo et al., 2023). 결과적으로 타이치 수련은 산화 축과 염증 축의 동시 개선은 두 경로의 상호증폭 고리를 차단하여 말초 저등급 염증의 전신적 부담을 줄이는 시스템 수준의 조절 효과를 시사하며(Choi and Yoon, 2015), 타이치가 노화 관련 생리학적 불균형을 다표적 기전으로 완화하는 비약물적 중재임을 뒷받침한다(Choi, 2024).

네 번째, 하위그룹 메타분석에서 RCT의 효과가 비RCT보다 크게 나타난 것($g=0.402$ vs. 0.326)은, 설계가 엄밀해질수록 효과 과대추정이 줄어든다는 메타역학적 패턴과 맞물린다. 즉, 엄밀한 조건에서도 효과가 보수적으로 유지된다는 해석에 힘을 보태며, 이는 김은영 외(2016)의 연구가 보고한 경향과도 맥락을 같이 한다.

또한, 타이치 수련 기간에 따른 효과분석 결과 단기(≤ 12 주)와 장기(>12 주) 모두에서 유의성이 확인되었다는 점은 생물학적 변화가 대략 8-12주 무렵부터 나타나기 시작한다는 초기 반응 시기를 지지하는 결과이다(Yang et al., 2021). 이는 16주 Tai Chi Chih 무작위대조연구에서 고염증 기저군의 IL-6 감소가 보고된 사실과 관찰 시점이 일치한다는 점에서 시간적 개연성이 높다(Irwin and Olmstead, 2012). 즉, 기존 연구에서 보고된 바와 같이 정신-신체 통합 중재(mind-body interventions)는 중재 노출량(빈도 \times 강도 \times 기간)이 충분할수록 CRP·TNF- α ·IL-6 저하가 커지는 용량-기간 반응을 보이는 경향과 유사하다(Lee et al., 2025). 또한 12주 이상에서는 NF- κ B 경로가 관여하는 유전자 전사 과정(즉, DNA에서 mRNA를 만드는 단계)의 활성이 낮아져 염증 관련 유전자 발현이 줄어드는 생물학적 설명과도 맞물린다(Bower and Irwin, 2016). 종합하면, 8-12주에 관찰되는 초기 변화를 임상적 신호로 삼고 표준화된 시행 지침(빈도·강도·회기 길이)을 최소 12주 이상 유지할 때 항염·항산화 효과의 지속성과 누적성을 기대할 수 있다는 근거가 될 수 있음을 시사한다.

다만, 본 연구 결과 해석에는 몇 가지 한계점을 고려해야 한다. 우선 포함 연구 수와 RCT 비중이 적고 개별 표본도 작아 효과 추정의 정밀도가 낮을 수 있다. 타이치의 형식·강도·빈도·세션 길이·지도자 자격·참여자 순응도 등 중재 충실도 정보가 충분히 보고되지 않아 용량-반응과 실행 품질의 영향을 분리하기 어렵고, 바이오마커 분석법과 채혈 시점의 불일치로 측정오차 가능성도 남는다. 식이·수면·약물·신체활동 등 교란요인의 통제·보고는 불충분했으며, 추적 기간이 대체로 24주 미만이어서 효과의 지속성·중단 후 유지 여부를 판단하기 어렵다. 더불어 비영어권 편중과 검정력 한계는 출판-언어 편향을 완전히 배제하지 못하게 하고, 표본 구성의 치우침은 외적 타당도를 제약한다. 따라서 본 메타분석이 제시한 항산화·항염 효과의 방향성은 유지하되, 해석은 보수적으로 하고 적용 시 맥락을 세심히 고려할 필요가 있다. 이러한 한계를 보완하기 위해 향후 연구는 PROSPERO 사전등록과 CONSORT/TIDieR/CERT 준수를 통해 중재 구성·충실도 보고를 표준화하고, hs-CRP, IL-6/IL-10, TNF- α , NF- κ B, Nrf2, F2-isoprostanes, 8-OHdG, TAS 등 코어 아웃컴 세트를 합의하며, 분석법·채혈 시점에 관한 표준운영절차(SOP)를 병행 제시해야 한다. 동시에 허약도·근기능(핸드그립, SPPB)·6MWT·인지(MoCA)·삶의 질·우울·불안·의료이용 등 하드 엔드포인트를 바이오마커와 함께 평가하여 생물학적 개선의 임상적 의미를 검증하고, HRV·코르티솔 기율기·마이오카인·미토콘드리아 기능·에피제네틱 표지를 통합해 기전적 경로를 정교화할 필요가 있다. 유산소·저항·요가와 직접 비교 및 ‘호흡·명상·동작’ 해체 연구로 활성 성분을 규명하고, 커뮤니티·의료기관·원격/가정 기반에서 수

용성·안전성·비용 및 비용효과성을 동시 평가하되, 고염증 고령층·대사증후군·암생존자 등 취약집단을 대상으로 한 맞춤형 모델을 검증해야 한다. 채혈 전 활동·알코올 제한, 식이·수면 표준화, 시각 고정 등으로 급성 운동효과의 혼입을 최소화하고, 데이터·코드 공유와 다기관 대규모 RCT 네트워크를 통해 재현성과 외적 타당도를 높여야 한다. 아울러 8-12주를 초기 반응 창으로 설정하되 12-24주 이상을 전제로 한 요인설계로 비선형 용량-반응을 모델링하여 최적 용량을 규명하는 작업도 요구된다.

이상의 한계와 보완 과제를 전제하더라도, 본 연구는 타이치가 노화 관련 두 축(산화스트레스·염증)을 동시에 낮추는 효과를 낮은 이질성으로 정량 입증해 임상·공중보건 적용의 신뢰도를 높였다는 의의와, 8-12주 초기 반응을 고려한 최소 12-24주 표준화 프로토콜, 고염증 취약집단의 우선 표적화, 코어 아웃컴 세트·SOP에 기반한 효과·비용효율 동시 평가를 제안한다는 시사점을 갖는다.

5. 결론

첫째, 본 체계적 고찰·메타분석은 타이치 수련이 노화 관련 산화스트레스와 만성 염증을 동시에 낮추고 항산화 방어를 강화한다는 점을 일관되게 확인하였다.

둘째, 변화는 8-12주 무렵부터 관찰되므로 최소 12-24주의 표준화된 빈도·강도·회기 길이를 갖춘 프로그램을 권고하며, 고염증 기저의 고령층·대사위험군·암생존자 등 취약집단에 우선 적용하는 것이 바람직하다.

세번째, 근거의 엄밀성과 적용성을 높이기 위해 사전등록과 보고 기준 준수, 코어 아웃컴 세트와 표준운 영절차 확립, 장기 추적 및 기전 검증을 포함한 다기관 연구가 요구된다.

References

- Bower JE, Irwin MR. 2016. Mind-body therapies and control of inflammatory biology: A descriptive review. *Brain, Behavior, and Immunity*, 51, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2015.06.012>
- Choi BG, Yoon HJ. 2015. The Effects of Tai Chi exercise program on sarcopenia index and adipocytokine for elderly women. *The Korea Journal of Sports Science*, 24(6), 971-979.
- Choi YH. 2024. Recent research trends in induction of cellular senescence by microplastics. *Journal of Life Science*, 34(8), 594-607. <https://doi.org/10.5352/JLS.2024.34.8.594>
- Goon JA, Aini AHN, Musalmah M, et al. 2009. Effect of Tai Chi exercise on DNA damage, antioxidant enzymes, and oxidative stress in middle-age adults. *Journal of Physical Activity and Health*, 6(1), 43-54. <https://doi.org/10.1123/jpah.6.1.43>
- Ha DJ, Kim SH, Son BW, et al. 2023. Attenuation of Oxidative Stress-Induced HepG2 Cellular Damage by *Cirsium japonicum* Root Extract. *Journal of Life Science*, 33(12), 1002-1014.
- Han EJ, Song MK, Kim JH, et al. 2020. 10 years of trend of health conditions before needing and receiving long-term care insurance benefit in Korea. *Journal of the Korean Gerontological Society*, 40(6), 1045-1059. <https://doi.org/10.31888/JKGS.2020.40.6.1045>
- Huang XY, Eungpinichpong W, Silsirivanit A, et al. 2014. Tai chi improves oxidative stress response and DNA damage/repair in young sedentary females. *Journal of Physical Therapy Science*, 26(6), 825-829. <https://doi.org/10.1589/jpts.26.825>
- Hwang JS. 2023. Changes in the policy environment of Korea's aging society and countermeasures [한국고령사회 정책환경의 변화와 대응방안]. *Healthcare Policy Forum*, 21(1), 29-34.
- Irwin MR, Olmstead R. 2012. Mitigating cellular inflammation in older adults: A randomized controlled trial of Tai Chi Chih. *The American Journal of Geriatric Psychiatry*, 20(9), 764-772. <https://doi.org/10.1097/JGP.0b013e3182330fd3>

- Lee SC, Tsai PH, Yu KH, et al. 2025. Effects of mind–body interventions on immune and neuroendocrine functions: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Healthcare*, 13(8), 952. <https://doi.org/10.3390/healthcare13080952>
- Lee YJ. 2009. Effects of the Tai Chi exercise program on physical function and physiological variables in patients with degenerative arthritis. *Journal of Muscle and Joint Health*, 16(2), 116–124.
- Mendoza-Núñez VM, Arista-Ugalde TL, Rosado-Pérez J, et al. 2018. Hypoglycemic and antioxidant effect of Tai Chi exercise training in older adults with metabolic syndrome. *Clinical Interventions in Aging*, 13, 523–531. <https://doi.org/10.2147/cia.s157584>
- Mendoza-Núñez VM, Hernández-Monjaraz B, Santiago-Osorio E, et al. 2014. Tai Chi exercise increases SOD activity and total antioxidant status in saliva and is linked to an improvement of periodontal disease in the elderly. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2014, 603853. <https://doi.org/10.1155/2014/603853>
- Mesquita T, Lin YN, Ibrahim A. 2021. Chronic low - grade inflammation in heart failure with preserved ejection fraction. *Aging Cell*, 20(9), e13453. <https://doi.org/10.1111/accel.13453>
- Oh B, Bae K, Lamoury G, et al. 2020. The effects of Tai Chi and Qigong on immune responses: A systematic review and meta-analysis. *Medicines*, 7(7), 39. <https://doi.org/10.3390/medicines7070039>
- Orisaka M, Mizutani T, Miyazaki Y, et al. 2023. Chronic low-grade inflammation and ovarian dysfunction in women with polycystic ovarian syndrome, endometriosis, and aging. *Frontiers in Endocrinology*, 14, 1324429. <https://doi.org/10.3389/fendo.2023.1324429>
- Park J. 2022. Clinical rationale for anti-aging treatment. *Geriatric Rehabilitation*, 12(1), 6-20.
- Park M, Song R. 2013. Effects of Tai Chi on fall risk factors: A meta-analysis. *Journal of Korean Academy of Nursing*, 43(3), 341–351.
- Qi F, Soh KG, Nasiruddin NJM, et al. 2023. Effect of Taichi Chuan on health-related physical fitness in adults: A systematic review with meta-analysis. *Complementary Therapies in Medicine*, 77, 102971. <https://doi.org/10.1016/j.ctim.2023.102971>
- Rosado-Pérez J, Castelán-Martínez OD, Mújica-Calderón AJ, et al. 2021. Effect of Tai Chi on markers of oxidative stress: Systematic review and meta-analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(7), 3458. <https://doi.org/10.3390/ijerph18073458>
- Rosado-Pérez J, Ortiz R, Santiago-Osorio E, et al. 2013. Effect of Tai Chi versus walking on oxidative stress in Mexican older adults. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2013, 298590. <https://doi.org/10.1155/2013/298590>
- Rosado-Pérez J, Santiago-Osorio E, Ortiz R, et al. 2012. Tai Chi diminishes oxidative stress in Mexican older adults. *The Journal of Nutrition, Health and Aging*, 16(7), 642–646. <https://doi.org/10.1007/s12603-012-0029-9>
- Seo MK, Lee JG, Seog DH, et al. 2023. Effects of stress-induced sterile inflammation on the development of depression. *Journal of Life Science*, 33(12), 1062–1073. <https://doi.org/10.5352/JLS.2023.33.12.1062>
- Shu C, Feng S, Cui Q, et al. 2021. Impact of Tai Chi on CRP, TNF-alpha and IL-6 in inflammation: A systematic review and meta-analysis. *Annals of Palliative Medicine*, 10(7), 7468–7478. <https://doi.org/10.21037/apm-21-640>

- Song M, Zhao X, Song F. 2021. Aging-dependent mitophagy dysfunction in Alzheimer's disease. *Molecular Neurobiology*, 58(5), 2362–2378. <https://doi.org/10.1007/s12035-020-02248-y>
- Yamamoto R, Nomura T, Mori K, et al. 2020. Acute effect of Tai Chi Yuttari-exercise on oxidative stress and antioxidant capacity in older women. *Journal of Allied Health Sciences*, 11(2), 68–73.
- Yang L, Winters - Stone K, Rana B, et al. 2021. Tai Chi for cancer survivors: A systematic review toward consensus - based guidelines. *Cancer Medicine*, 10(21), 7447–7456. <https://doi.org/10.1002/cam4.4273>
- You T, Ogawa EF, Thapa S, et al. 2020. Effects of Tai Chi on beta endorphin and inflammatory markers in older adults with chronic pain: An exploratory study. *Aging Clinical and Experimental Research*, 32(7), 1389–1392. <https://doi.org/10.1007/s40520-019-01316-1>
- Zou L, Sasaki JE, Wei GX, et al. 2018. Effects of mind–body exercises (Tai Chi/Yoga) on heart rate variability parameters and perceived stress: A systematic review with meta-analysis of randomized controlled trials. *Journal of Clinical Medicine*, 7(11), 404. <https://doi.org/10.3390/jcm7110404>