

# 비특이적 만성 허리통증 환자에 대한 전기자극의 효과 : 국내 데이터베이스의 메타분석

이정우<sup>1</sup> · 조성현<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>광주여자대학교 물리치료학과 교수, <sup>2\*</sup>남부대학교 물리치료학과 교수

## Effects of Electrical Stimulation on Patients with Non-Specific Low Back Pain : A Meta-Analysis of Domestic Database

Jeong-Woo Lee , PT, Ph.D<sup>1</sup> · Sung-Hyoun Cho, PT, Ph.D<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Physical Therapy, Kwangju Women's University, Professor

<sup>2\*</sup>Dept. of Physical Therapy, Nambu University, Professor

### Abstract

**Purpose** : The purpose of this meta-analysis was to evaluate the effects of electrical stimulation on patients with non-specific low back pain.

**Methods** : Domestic databases were gathered from studies that conducted clinical trials associated with electrical stimulation and its impact on pain of non-specific low back patients. A total of 681 studies were identified, with 12 studies satisfying the inclusion data. The studies consisted of patient, intervention, comparison, outcome, and study design (PICO-SD). The search outcomes were items associated with low back pain. Cochrane risk of bias 2 (RoB 2) was used to evaluate the quality of 12 randomized controlled trials. Effect sizes (Hedges's  $g$ ) in this study were computed as the corrected standard mean difference (SMD). A random-effect model was used to analyze the effect size because of the high heterogeneity among the studies. Egger's regression and 'trim-and-fill' tests were carried out to analyze the publication bias. Cumulative meta-analysis and sensitivity analysis were conducted to analyze the effect according to the sample size and the consistency of the effect size.

**Results** : The following factors had a large overall effect size (Hedges's  $g=1.28$ , 95 % CI=.20~2.36) involving electrical stimulation on non-specific low back pain. The subgroup analysis all showed a statistical difference in the types of study design, electrical stimulation, and assessment tool. No statistically significant difference was found in the meta-regression analysis. Publication bias was found in the data.

**Conclusion** : The findings in this study indicate that electrical stimulation interventions have a positive effect on patients with non-specific low back pain. However, due to the low quality of studies and publication bias, the results of our study should be interpreted cautiously.

**Key Words** : chronic low back pain, electrical stimulation, interferential current, meta-analysis, transcutaneous electrical stimulation

\*교신저자: 조성현, shcho@nambu.ac.kr

제출일 : 2022년 7월 3일 | 수정일 : 2022년 7월 25일 | 게재승인일 : 2022년 8월 5일

\* 이 논문은 2022학년도 광주여자대학교 교내연구비 지원에 의하여 연구되었음(KWUI22-065).

# I. 서론

## 1. 연구의 배경 및 필요성

허리통증(low back pain)은 비교적 높은 발병률과 유병률이 있는 상태이며, 새로운 증상이 시작된 이후 통증은 상당히 개선되지만 첫 4~6주 동안에 완전히 해결되지는 않는다(Koes 등, 2010). 대부분 허리통증 환자의 90 %에서는 3개월 이내에서 회복되지만, 나머지 일부에서는 회복이 서서히 되거나 만성통증으로 이환된다(Ko & Kim, 2012). 허리통증은 볼기 주름(gluteal fold) 위와 허리 척추의 12번째 갈비뼈 아래에 불편함과 아픔으로 정의될 수 있으며, 진단적 분류(diagnostic triage)는 비특이적 허리통증(non-specific low back pain), 신경뿌리 증상(nerve root symptom)이 있는 허리통증, 심각한 병리학적 증상(악성종양, 골절, 강직성 척추염 등)으로 인한 허리통증의 세 가지로 분류된다(Haile 등, 2021).

허리통증은 엄밀히 말하면 증상을 설명하지만 이러한 용어는 광범위한 질병과 관련된 임상적 현상과 관련되어 있으며, 비특이적 허리통증은 종양(tumor), 골절(fracture), 감염(infection), 염증성 관절염(inflammatory arthritis) 또는 말총(cauda equina)과 같은 관련된 진단이 없는 요통의 경우로 더욱 좁게 다룬다(Becker & Childress, 2019).

전기자극은 임상에서 전류의 주파수와 목적에 따라 다양한 자극 방식으로 사용되고 있으며, 현재 임상에서는 경피신경전기자극(transcutaneous electrical nerve stimulation; TENS)이 통증조절(pain modulation)을 위한 목적으로 널리 사용되고 있다. 경피신경전기자극은 감각성 경피신경전기자극(sensory TENS), 운동성 경피신경전기자극(motor TENS), 유해성 경피신경전기자극(noxious TENS)의 방식으로 통증조절에 사용되고 있으며, 간섭전류치료(interferential current therapy; ICT)는 중주파 교류 전류로 통증조절, 순환증진, 근육자극에 사용되는 또 다른 형태의 경피신경전기자극이다(Denegar 등, 2010). 이 밖에도 주로 기능조절을 위한 전기자극 목적으로 신경근전기자극(neuromuscular electrical stimulation; NMES) 등이 사용되고 있다. 신경근전기자극은 근육 위에 전극

을 통해 전류를 흘려서 근수축을 일으키며, 수술 및 손상에 따른 신경 활성화 결손(neural activation deficits)을 피하기 위해 재활프로그램의 부가적인 치료로 자주 사용된다(Toth 등, 2020).

전기자극과 관련된 체계적 문헌고찰 및 메타분석 연구들의 국외 연구 현황들 중 먼저 코크란 연합(The Cochrane Collaboration)에서 발표된 국외 연구현황을 살펴보면 급성통증 치료에 대한 경피신경전기자극(Johnson 등, 2015), 신경인성 통증(neuropathic pain)에 대한 경피신경전기자극(Gibson 등, 2017), 만성 목 통증에서의 경피신경전기자극(Martimbianco 등, 2019)은 대부분 비플러임 위험이 높게 평가된 일부의 연구들에서는 효과적인 것으로 나타났다. 그러나 대규모의 질적 수준이 높은 연구들이 부족하기 때문에 경피신경전기자극이 다른 중재 방법들보다 임상적 효과적인지에 대한 근거는 불충분한 것으로 분석되었다. 더 나아가 만성 허리통증에서의 경피신경전기자극은 적은 수의 위약-대조 실험(placebo-controlled trials) 연구들에서도 만성 허리통증의 기본적 관리에서 효과적이지 않았다고 보고되었다(Khadikar 등, 2008). 따라서 국외의 연구에서는 경피신경전기자극이 급성통증 및 신경인성 통증에 질적으로 낮은 수준의 연구들에서는 다른 중재 방법들보다 일부 효과적인 근거들은 있으나 아직 높은 질적 수준의 근거로는 불충분하며, 만성 허리통증에 대한 효과의 근거는 거의 보고되지 않고 있다. 국내에서의 경피신경전기자극에 대한 통증과 관련한 체계적 문헌고찰 및 메타분석 연구현황을 살펴보면 수술 후 통증에 대한 효과가 있는 것으로 보고되었으나(Jeon & Park, 2012) 아직까지는 급성 및 만성통증에 대한 효과와 관련한 연구는 부족한 실정이다.

## 2. 연구의 목적

이 연구의 목적은 국내 데이터베이스에 보고된 연구를 토대로 비특이적 만성 허리통증 환자의 전기자극 효과에 대한 치료적 근거를 제시하기 위한 것이다.

## II. 연구방법

### 1. 연구설계

본 연구는 국내 데이터베이스에 보고된 비특이적 만성 허리통증 환자에 대한 전기자극 효과를 파악하기 위한 메타분석 연구이다.

### 2. 문헌 선정기준

문헌 선정은 코크란 연합(The Cochrane Collaboration)에서 제안한 체계적 문헌고찰 및 메타분석의 보고기준(PRISMA 2020 checklist)에 따라 수행하였다. 구체적인 문헌 선정기준은 PICO-SD(participants, intervention, comparison, outcome, study design)를 포함하였다. 또한, 문헌 중에서 동일한 문헌이 학위논문과 학술지에 각각 게재되었을 경우 학술지 연구를 기준으로 문헌을 선택하였다.

#### 1) 연구 대상자(Participants; P)

연구 대상자는 비특이적 만성 허리통증 환자를 대상으로 하였다. 만성 허리통증의 기간은 선행연구를 참고하여 최소 3개월 이상의 허리통증이 지속된 것으로 선정하였다(Dionne 등, 2008).

#### 2) 중재(Intervention; I)

중재는 통증 감소를 위한 목적으로 사용된 경피신경전기자극(TENS), 간섭전류(ICT), 은침형전기자극(SSP), 전기침술(electro-acupuncture), 피하신경전기자극(percutaneous electrical nerve stimulation, PENS), 신경근전기자극(NMES)을 포함하였다. 단, 중추신경계질환자에게 적용되는 기능적전기자극(FES) 및 경두개전기자극(tDCS)과 탈신경근 환자에게 적용되는 근육전기자극(EMS)은 제외하였다.

#### 3) 대조군(Comparison; C)

대조군은 무 처치(no treatment), 운동치료(therapeutic exercise), 허위 자극(sham stimulation), 반복자기자극

(repetitive magnetic stimulation; rMS), 초음파 치료(therapeutic ultrasound), 침 치료(acupuncture)를 포함하였다.

#### 4) 중재 결과(Outcome; O)

중재 결과는 허리의 통증으로 선정하였다.

#### 5) 연구유형(Study design; SD)

연구유형은 대조군(control group)이 있는 무작위 및 비무작위 대조군 실험연구(randomized and non-randomized controlled trial)와 단일군(single group) 전기자극 전과 후의 실험연구 및 비무작위 연구(non-randomized studies of intervention; NRSI)를 포함하였다.

### 3. 문헌 배제기준

문헌 배제기준은 연구 대상자가 비특이적 만성 허리통증이 아닌 경우, 허리통증 지속 기간이 최소 3개월 미만인 경우, 전기자극을 적용하지 않은 경우, 고찰연구, 사례 연구, 통계적 수치가 정확하게 제시되지 않은 연구, 영어나 한국어가 아닌 경우로 배제기준을 선정하였다.

### 4. 문헌 검색 및 선정 과정

자료 수집 전에 광주여자대학교 생명윤리심의위원회 심의 면제 승인(1041465-202204-HR-002-12) 후 2022년 4월 27일부터 5월 13일까지 문헌 검색을 완료하였다. 문헌은 출판 연도를 제한하지 않았으며, 메타분석 연구 경험이 있는 연구자와 함께 각각 데이터베이스를 검색하고 서지 관리 프로그램인 Endnote 20과 엑셀(microsoft excel) 프로그램을 이용하여 중복된 문헌을 제거한 후 1차로 논문의 제목과 초록을 통해 검토하였다. 이후 선정 기준 및 배제기준에 따라 선별된 논문의 전문 검토를 통해 선별된 결과를 두 명의 연구자가 합의를 통해 최종 문헌을 선정하였다.

#### 1) 검색원

자료 검색은 국내의 데이터베이스에 보고된 연구들을

분석하기 위해 한국보건의료연구원(NECA)에서 권장하는 핵심 국내의 데이터베이스들과 학술정보 및 포털을 참고하여 선정하였다(Kim 등, 2011). 포함된 국내의 데이터베이스들은 국가과학기술정보 통합서비스(NDSL), 학술데이터베이스서비스(DBpia), 한국교육학술정보원(RISS), 한국의학논문데이터베이스(Kmbase), 한국학술정보원(KISS), 대한의학학술지편집인협의회(KoreaMed)를 포함하였다.

2) 검색전략

검색에 사용된 주요 검색어들은 PICO 기준의 대상자 (participants)와 중재(interventions)를 블리언 논리 연산자 (Boolean logical operators) ‘AND’와 ‘OR’를 이용하여 민감도 및 적합도를 높이도록 하였다. 허리통증과 전기자극에 대한 검색어는 전기자극 전문가의 의견과 추가로 영어 검색어는 PubMed의 MeSH 검색어에서 검색어, 유사어, 동의어, 자유어를 조사하여 선정하였고 최종 검색전략은 체계적 문헌고찰 및 메타분석 경험이 있는 연구자의 검토를 받아 진행하였다. 한글 검색어에서는 (‘요통’ OR ‘허리통증’) AND (‘전기치료’ OR ‘전기자극’ OR ‘경피신경전기자극’ OR ‘간섭전류’ OR ‘신경근전기자극’ OR ‘전기침술’ OR ‘은침형 전기자극’ OR ‘미세전류’ OR ‘피하신경전기자극’)으로 검색하고 영어 검색어에서는 (low back pain OR lower back pain OR lumbago) AND (transcutaneous electrical nerve stimulation OR TENS OR interferential current OR ICT OR neuromuscular electrical stimulation OR NMES OR silver spike point OR SSP OR electircal stimulation OR electrotherapy OR scrambler OR electroacupuncture OR needle TENS OR microcurrent)로 검색을 하였다.

국내 데이터베이스들의 경우 블리언 논리 연산자를 통한 검색을 전혀 할 수 없거나 불안정한 경우가 많았기 때문에 수기 검색으로 대상자와 중재에 해당하는 검색어를 각각 입력하여 추가로 검색을 진행하였다.

5. 논문의 질적 평가

선정된 논문들에 대한 질적 평가는 2019년에 개정된

코크란 비플립 위험평가도구 2(Cochrane risk of bias tool, Cochrane RoB 2)의 항목을 사용하여 분석하였으며, 물리치료학과 교수 2인이 각각 검토하여 최종 합의로 결정하였다. 비플립의 평가영역은 무작위배정 과정에서 발생하는 비플립(bias arising from the randomization process), 의도한 중재에서 이탈로 인한 비플립(bias due to deviations from intended interventions), 중재결과 자료의 결측으로 인한 비플립(bias due to missing outcome data), 중재결과 측정의 비플립(bias in measurement of the outcome), 보고된 연구결과 선택의 비플립(bias in selection of the reported result)의 총 5개의 영역이며, 5개 영역 전체에 대한 전반적 비플립 위험을 추가로 평가하였다. 또한, 비플립 위험 기준은 각각의 영역마다 낮은 비플립 위험(low risk), 일부 우려(some concerns), 높은 비플립위험(high risk)로 평가하고 5개 항목 전체에 대한 전반적 비플립 위험도 이들 3가지의 위험 수준으로 평가하는데, 코크란 연합에서 제공하는 알고리즘에 따라 평가할 수 있도록 비플립위험평가 도구 홈페이지(riskofbias.info)에 제공된 RoB 2 excel tool을 이용하여 평가를 진행하였다.

6. 자료추출 및 데이터 코딩

최종 선정된 연구에서 PICO에 따라 연구의 특성(출판연도, 저자, 설계유형), 연구 대상자의 특성(나이, 대상자수)과 중재 특성(전기자극 유형, 주파수, 전기자극 수준, 전기자극 시간, 중재 기간, 주당 중재 빈도, 대조군 중재 유형), 연구 결과(허리통증)로 각각의 통계적 수치를 분류하였다. 데이터 코딩은 메타분석의 경험이 있는 두 명의 연구자가 각각 엑셀 프로그램을 이용하여 데이터를 추출 후 합의를 진행하여 실시하였다.

7. 자료 분석

메타분석은 R 프로그램(version 4.0)의 메타분석 패키지(meta package)를 이용하여 분석을 실시하였다.

1) 효과 크기 분석

효과 크기는 교정된 표준화된 평균효과 크기(corrected

standardized mean difference; SMD)로 Hedges's  $g$ 와 95 %의 신뢰구간(confidence interval; CI)을 분석하였다. 다양한 효과 크기들을 하나의 효과 크기로 분석하기 위해 효과추정치(estimated treatment effect; TE)와 효과 크기의 표준 오차(standard error of treatment estimate; seTE) 값으로 변환하여 분석을 진행하였다. 집단 간의 변동 값  $\tau^2$ 을 추정하는 방법은 Paule-Mandel 추정법을 적용하였다. 종속변수로는 허리의 통증(pain)으로 하였으며, 실험군이 대조군보다 효과가 있는 경우 효과 크기의 방향을 '+'로 변환하고 대조군이 실험군보다 효과가 있는 경우는 효과 크기의 방향을 '-'로 변환하여 일치시켰다.

## 2) 연구의 이질성 평가 및 조절 효과 분석

연구들의 이질성에 대한 평가는 Higgins의  $I^2$  통계량(50 % 이상)과 Q통계량이  $p < .1$ 이면 이질성이 높은 것으로 판단을 하였으며, PICO 특성에서 이질적인 요소가 있을 것으로 판단하여 모두 랜덤효과모형(random effects model)을 적용하여 분석을 진행하였다. 또한, 효과 크기에 대한 해석은 전체 평균 효과 크기가 95 % 신뢰구간에 '0'을 포함하지 않는 경우 Cohen(1988)에 의해 분류된 효과 크기 .2는 작은 효과 크기, .5는 중간 효과 크기, .8은 큰 효과 크기로 분류된 기준을 토대로 해석을 실시하였다.

하나의 논문에서 여러 개의 효과 크기가 산출될 경우 '독립성 가정 위반'의 문제가 발생되어 연구의 내적 타당도를 위협하는 문제를 해결하면서 동시에 정보의 손실을 막기 위하여 Cooper(1988)의 분석단위 이동 방법을 적용하였다. 분석단위 이동 방법은 전체효과크기를 산출할 때는 연구 논문 하나를 한 개의 분석단위로 적용하여 1개의 효과 크기만을 산출하고 연구의 이질성에 대한 조절 효과 분석(moderator analysis)으로 하위그룹분석(subgroup analysis)과 메타회귀분석(meta-regression)을 실시할 때는 하나의 논문에서 여러 개의 효과 크기들이 제시되어 있을 경우 이를 각각 개별 분석단위로 취급하여 메타분석을 실시하였다. 이때, 종속 변인이 범주형 변수(연구 설계, 전기자극 유형, 평가 도구)의 경우는 하위그룹분석을 실시하였으며, 연속형 변수(대상자의 나이, 전기자극 총치료 횟수)의 경우는 다중 메타회귀분석

(multiple meta-regression)을 실시하였다. 이때, 하위그룹 분석은 같은 유형의 그룹에 효과 크기가 최소 2개 이상이면서 전기자극 유형의 경우 주파수와 전류 강도가 정확하게 제시된 효과 크기만을 분석 대상으로 적용하였다.

## 3) 출판편의 분석

출판편의(publication bias)에 대한 분석은 전체효과 크기에 대해 깔때기 그림(funnel plot)의 대칭에 대한 분석을 실시하였다. 깔때기 그림(funnel plot)의 대칭에 대한 통계적 분석은 Egger의 회귀분석(Egger's regression test)으로 실시하였으며, 출판편의 오류가 결과에 미치는 영향을 알아보기 위해서 'Trim and fill' 분석을 실시하였다.

## 4) 누적 메타분석

누적 메타분석(cumulative meta-analysis)은 표본의 크기에 따른 영향을 알아보기 위해 표본이 큰 연구로부터 작은 연구의 순서로 정렬하여 누적된 효과 크기의 영향에 대해 분석을 실시하였다.

## 5) 민감성 분석

민감성 분석(sensitive analysis)은 데이터 오류에 대한 분석과 연구 결과의 일관성을 확인하기 위해서 전체효과 크기에 대해 실시하였다.

# III. 결 과

## 1. 연구의 선정 과정

연구의 선별 및 선정 과정은 4단계를 통해 선정되었는데, 1단계에서 국가과학기술정보 통합서비스(NDSL) 34편, 학술데이터베이스서비스(DBpia) 57편, 한국교육학술정보원(RISS) 231편, 한국의학논문데이터베이스(Kmbase) 29편, 한국학술정보(KISS) 36편, KoreaMed 293편을 통해 680편이 검색되었다. 2단계에서는 중복된 연구를 제외한 후 남은 연구는 471편이었다. 3단계에서 제목 및 초록을 통해 부적합 연구들을 제외하여 27편이 선

정되었고 4단계에서 전문(full text)을 통해 대상자가 3개월 이상의 비특이적 만성 허리통증 환자가 아니거나 전

기자극이 아닌 연구들을 제외하여 최종 12편이 선정되었다(Fig 1).

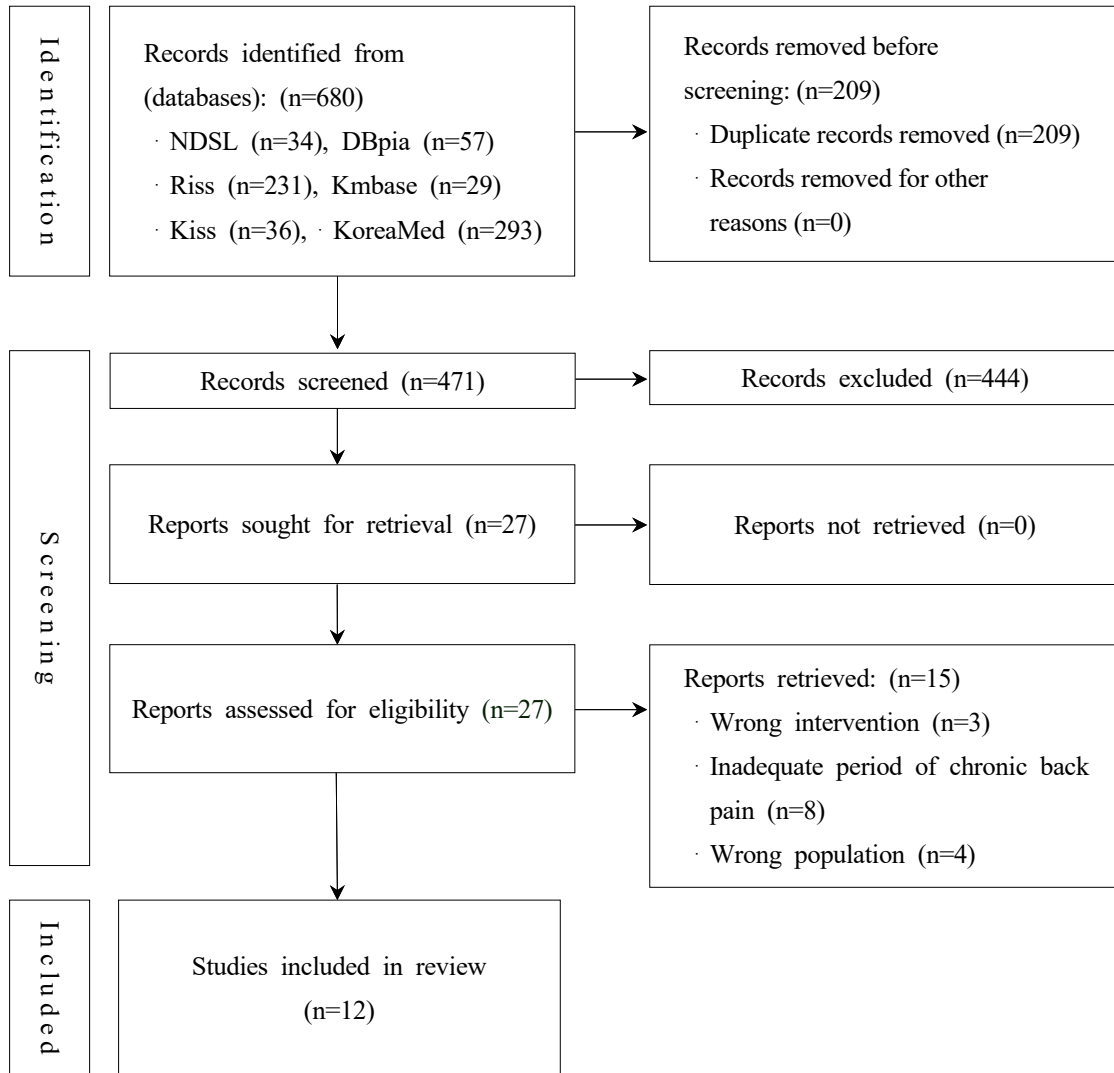


Fig 1. Flow chart of the study selection process

## 2. 선정된 연구의 특성

선정된 연구는 PICO에 따라 연구 설계, 표본 크기, 탈락자(drop), 대상자의 나이, 중재 방법(전기자극 유형, 주파수, 전기자극 수준, 전기자극 시간, 중재 기간, 주당 중재 빈도, 대조군 중재 유형), 결과변수(허리통증)로 구성하였다(Table 1). 논문은 2007년 6월부터 2021년 11월까지 분포되어 있으며, 연구 대상자 수는 총 414명, 12편

모두 무작위 대조군 실험연구들(randomized controlled trials; RCT)이었다. 연구 설계 유형은 통제집단 실험 전-후(control group, pre-post) 설계 연구가 6편, 단일집단 실험 전-후(single group, pre-post) 설계 연구가 6편이었다. 전기자극 유형은 간섭전류(IFT), 경피신경전기자극(TENS), 미세전류(microcurrent; MC), 은침형전기(silver spike point; SSP), 전기침술(electro-acupuncture), 전신 근육전기자극(whole body electromyostimulation; WB-EMS),

페인스크램블러(pain scrambler)였다. 전기자극당 자극시간은 10분이 2편, 20분이 6편, 30분이 4편이었다. 중재기간은 1회 적용이 4편, 2주가 3편, 3주가 1편, 5주가 2편, 6주가 2편이었다. 결과변수 중 통증 항목은 숫자등급

척도(numerical rating scale; NRS), 시각상사척도(visual analogue scale; VAS), 압력통증역치(pressure pain threshold; PPT), 전기자극통증역치(electrical stimulation pain threshold; ESPT)였다.

Table 1. General characteristics of studies included in the meta-analysis

Author	Study design	Sample size		Drop	Age (yr)	Intervention						Comparison	Outcomes
		EG	CG			Type	Fre. or Beat fre. (Hz)	Stimulation level	Time (min)	Duration (weeks)	Session per week		
Choi & Shin, 2009	RCT	10 10	10	-	28.1	TENS ICT	100 100	Sensory Sensory	20	2	3	US	VAS
Comachio et al., 2020	RCT (single blind: ITT)	33	33	-	47.5	EA+MA	100	Tolerable	10	6	2	MA	NRS
Jung & In, 2020	RCT (double blind)	20	20	-	54.9	ICT+HP+ Ex	80	Sensory	30	2	5	Sham ICT+ HP+Ex	VAS
Kim et al., 2010	RCT	10	13	2	41.3	TENS	100	Sensory	10	2	5	rMS	NRS
Lee, 2007	Single group (pre-post)	10 10 10	-	-	54	SSP+ICT EA+ICT ICT	10 10 NI	NI	20	1	1	-	ESPT
Lee & Chon, 2020	RCT	15	15	-	21.6	WB-EMS+ Ex	85	70 % of the pain threshold	30	1	1	Ex	VAS
Lee et al., 2020	Single group (pre-post)	7	-	-	48.4	TENS	100	NI	20	1	1	-	PPT
Nam, 2010	Single group (pre-post)	10 10 10	-	-	52.1	LP+PENS MLP+PENS TENS	120 120 250	NI	20	6	3	-	VAS
Oh et al., 2008	Single group (pre-post)	20 17	-	-	43.9	TENS MC	4 5	Motor Subsensory	20	5	3	-	VAS
Park & Jung, 2010	Single group (pre-post)	10 10 10	-	-	50	MC	0.5 50 100	Subsensory	20	1	1	-	VAS
Park & Lee, 2021	Single group (pre-post)	10 10	-	-	50	Pain scrambler TENS	43-52 NI	Tolerable Motor	30	5	3	-	NRS
Yaksi et al., 2020	RCT (single blind)	25 25	24	1	43.3	Burst TENS TENS	1-4 (50-100 train) 60-80	Comfortable	30	3	5	Placebo TENS	VAS

CG; control group, EA; electro-acupuncture, EG; experimental group, ESPT; electrical stimulation pain threshold, Ex; exercise (squat, bridge, plank), Fre.; frequency, HF; high frequency, HI; high intensity, HP; hot pack, ICT; interferential current therapy, ITT; intention to treat, LF; low frequency, LI; low intensity, LP; lumbar extension PENS, MA; manual acupuncture, MC; microcurrent, MLP; multifidus & lumbar extensor PENS, NI: no information, NRS; numerical rating scale, PENS; percutaneous electrical stimulation, PPT; pressure pain threshold, RCT; randomized controlled trial, rMS; repetitive magnetic stimulation, SSP; silver spike point, TENS; transcutaneous electrical stimulation, US; ultrasound, VAS; visual analogue scale, WB-EMS; whole body electromyostimulation

### 3. 선정된 연구에 대한 질적 수준 검증

최종적으로 포함된 12편의 연구들은 RoB 2 도구를 이용하여 비뚤림 위험을 평가하였고, R 프로그램(version 4.0)의 ‘robvis’ 패키지를 이용하여 그래프로 시각화하였다(Fig 2)(Fig 3).

무작위배정 과정(randomization process) 영역에서는 무작위배정 과정을 상세히 기술하고, 중재군과 대조군의 기준선의 차이가 없어 비뚤림 위험이 낮은 것(low risk)으로 판단된 연구가 3편(25%), 무작위 과정에 대해 상세한 설명이 없지만 대상자에 대한 기준 또는 배정 비율은 같아 비뚤림 위험이 일부 우려가 있음(some concerns)으로 판단된 연구가 9편(75%)이었다.

의도된 중재(intended interventions) 영역에서는 누락된 결과(missing outcome data), 결과 보고(reported result) 영역에서는 11편에서 누락이 없어 비뚤림의 위험이 낮다고 평가되었으며, 1편은 2명의 대상자가 탈락하여 대상자 탈락률이 5%가 넘었는데 이를 통계에 포함시키지 않아 비뚤림 위험이 높은 것으로 평가하였다. 일반적으로 5% 미만의 중재결과 자료 결측의 비율은 비뚤림 위험이 낮음으로 평가한다(Kim 등, 2011). 본 연구에서는

분석 대상 12편의 논문 중 1편만이 배정된 대로 분석(intention to treat; ITT)을 실시한 것으로 설명하였으며, 나머지 논문들은 배정된 대로 분석인지 아니면 프로토콜의 계획대로 치료를 받은 대상자를 바탕으로 분석(per protocol, PP)한 것인지에 대한 정보는 기재되어 있지 않았다.

결과 측정(measurement of the outcome) 영역에서는 결과 측정 방법과 확인 방법은 모두 적절한데, 중재 결과 평가자가 연구 대상자가 받은 중재를 알고 있는지 및 중재에 대한 지식에 의해 영향을 받았을 가능성이 있는지에 대한 정보는 없어서 연구 결과에 영향을 미칠 영향이 크다고 판단하여 비뚤림 위험이 높은 것으로 판단한 연구가 10편(83%)이고, 나머지 2편(17%)은 평가자 눈가림을 시행하여 비뚤림 위험이 낮은 것으로 판단되었다. 결과 보고(reported result) 영역에서는 중재 결과 자료가 눈가림이 해제되기 전에 분석되었는지에 대한 정보가 없어 12편 모두 일부 우려가 있음으로 평가하였다.

전반적 비뚤림 위험(overall risk of bias)은 일부 우려가 있음 1편, 높음은 11편인 것으로 분석되어 분석 대상 연구들의 질적 수준이 모두 낮은 것으로 평가되었다.

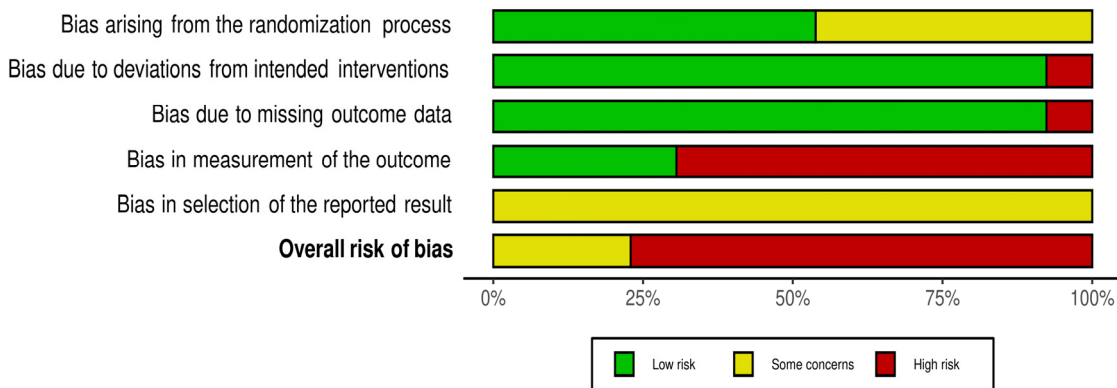


Fig 2. Summary of RoB 2 in overall trials



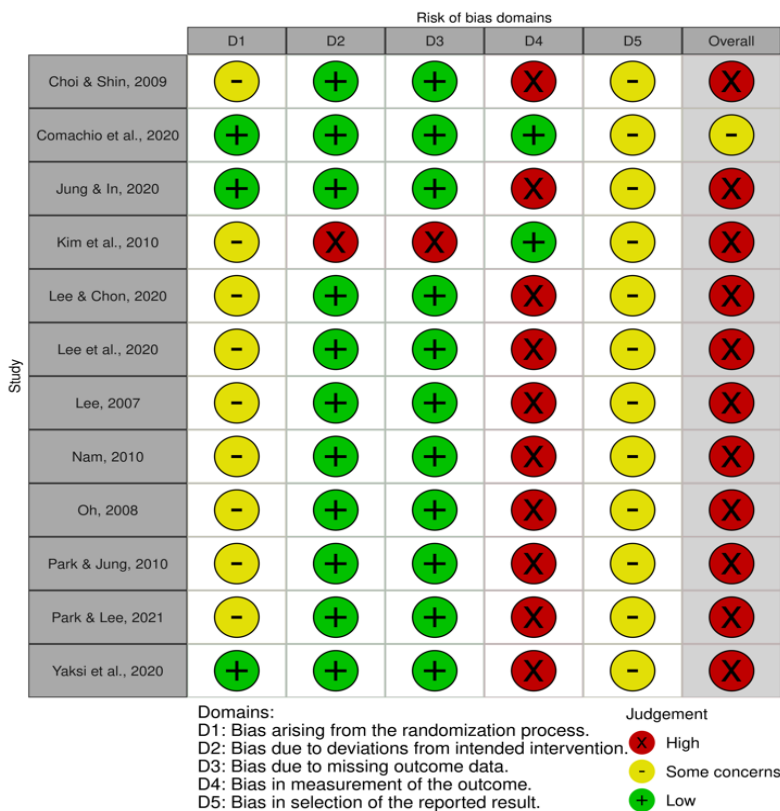


Fig 3. Summary of RoB 2 for each included study

4. 전기자극의 효과 크기

최종 선정된 12편 연구들에 대한 전체효과 크기의 이질성을 분석한 결과  $I^2=87\%$  ( $Q=83.48$   $df=11$ ,  $p<.0001$ )로

높은 이질성을 보이는 것으로 나타났다(Fig 4). 랜덤효과 모형을 이용하여 분석한 결과 전체효과 크기는 1.28(95% CI: .20~2.36)로 나타나 효과 크기가 큰 것으로 나타났다.

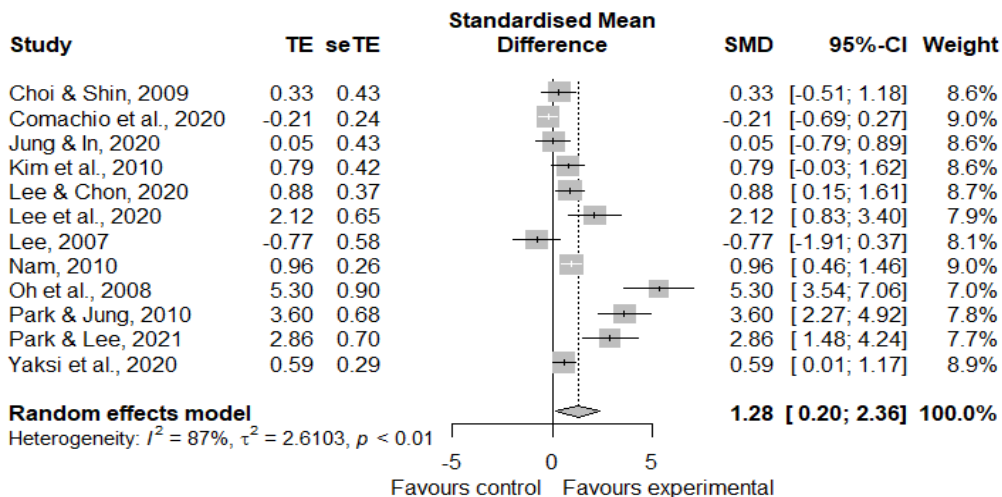


Fig 4. Forest plot for overall effect size in pain

5. 조절 효과 분석

최종 선정된 12편의 연구에서 총 59개의 효과 크기에 대해 하위그룹분석을 실시한 결과 연구 설계(Q=4.59, p=.032), 전기자극 유형(Q=12.63, p=.001), 평가 도구(Q=6.27, p=.044) 모두에서 통계적인 차이가 있는 것으로 나타났다(Table 2).

연구 설계(study design)에서는 통제집단 설계의 효과 크기(Hedges's g=.56)보다 단일집단 설계의 효과 크기(Hedges's g=2.47)가 훨씬 큰 것으로 나타나 만성 허리통증에 대한 전기자극은 자극 전보다 자극 후에 통증에 대해 큰 효과 크기를 보이거나 다른 중재 방법들과 비교해서

는 중간 크기의 효과가 나타나는 것으로 분석되었다. 전기자극 유형(types of electrical stimulation)에서는 감각성 수준의 전기자극, 운동성 수준의 전기자극, 침 전기자극 방법들은 95 % 신뢰구간이 '0'을 포함하여 효과적이지 않은 것으로 나타났으며, 아감각성 수준의 전기자극만이 효과 크기가 큰 것(Hedges's g=3.89)으로 나타났다. 평가 도구(assessment tool)에서는 시각상사척도(Hedges's g=1.74)와 전기자극 통증역치 및 압력통증역치(Hedges's g=5.04)에서만 큰 효과 크기를 보이는 것으로 나타났다. 이에 비해 숫자등급척도에서는 95 % 신뢰구간이 '0'을 포함하여 효과적이지 못한 것으로 나타났다.

Table 2. Meta ANOVA analysis results by types of study design, electrical stimulation, and assessment tool

Category	Subgroup	k	Hedges'g	95 % CI		I <sup>2</sup> (%)	Q (p)
				Lower	Upper		
Study design	Control group, pre-post	11	.56	.17	.95	61.5	4.59
	Single group, pre-post	11	2.47	.52	4.42	87.6	(.032)
Electrical stimulation	Subsensory ES	4	3.89	.37	7.40	86.0	
	Sensory ES	5	.31	-.10	.71	.0	12.63
	Motor ES	2	2.36	-18.80	23.53	93.6	(.001)
	Needle ES	4	.80	-.57	2.17	83.4	
Assessment tool	ESPT & PPT	4	5.04	.97	9.10	82.0	6.27
	NRS	4	1.50	-1.03	4.03	90.3	(.044)
	VAS	14	1.74	.58	2.91	87.0	

CI; Confidence Interval, ES; electrical stimulation, ESPT; electrical stimulation pain threshold, k; Number of effect size, NRS; numerical rating scale, PPT; pressure pain threshold, Q; Q value between groups, VAS; visual analogue scale

다중 메타회귀분석을 실시한 결과 회귀식의 통계적 유의성을 나타내는 회귀모형이 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타나(F=.10, p=.908), 비특이적 만성 허리통

증에 대한 전기자극의 효과 크기는 대상자의 나이 및 총 치료 횟수에서는 차이가 없는 것으로 나타났다(Table 3).

Table 3. Meta regression analysis results by age and total number of treatments

Category	Estimate	SE	t	p	F (p)
Intercept	.92	2.41	.38	.712	
Age	.00	.06	.03	.973	.10
Total number of treatments	.04	.09	.40	.697	(.908)

SE; standard error

### 6. 출판편의 분석

출판편의 검정을 위해 최종 선정된 12편의 연구들을 깔때기 그림의 비대칭에 대한 통계적 분석(Egger's regression test)을 실시한 결과 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다(bias=4.59, t=2.71, p=.022). 따라서 출판편의가 있는 것으로 판단되어 출판편의 오류가 결과에 미치는 영향에 대해 알아보기 위해 'Trim and Fill' 방법을 통해 분석한 결과 그림 왼쪽에 3개의 효과 크기가 채워지는 보정을 하여 분석되었다(Fig 5). 보정된 결과 효과 크기는 .50(95 % CI: -.82~1.82)로 나타나 보정 전 효과 크기 1.28(95 % CI: .20~2.36)보다 크게 낮아지는 것으로 나타났으며, 통계적으로도 유의하지 않은 것으로 나타나(t=.81, p=.430) 출판편의의 위험성이 존재하는 것

### 7. 누적 메타분석

표본의 크기에 따라 누적 메타분석을 실시한 결과 표본의 크기가 30명을 초과하는 연구 4개(k=4까지)를 투입했을 때 전체효과 크기는 0.29로 나타났다. 그리고 상대

으로 분석되었다.

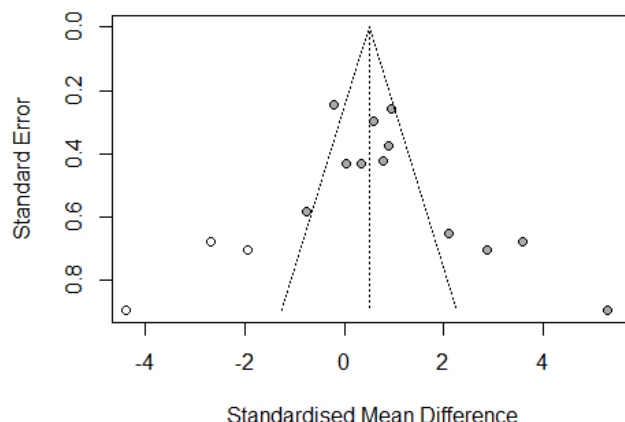


Fig 5. Adjusted funnel plot by trim and fill method for pain

적으로 표본의 크기가 작은(30명 이하) 나머지 8개의 연구를 투입하게 되면 전체효과 크기는 0.69로 증가해 전체 결과에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 따라서 표본의 크기가 작은 연구들이 출판편의를 일으키는 원인인 것으로 분석되었다(Fig 6).

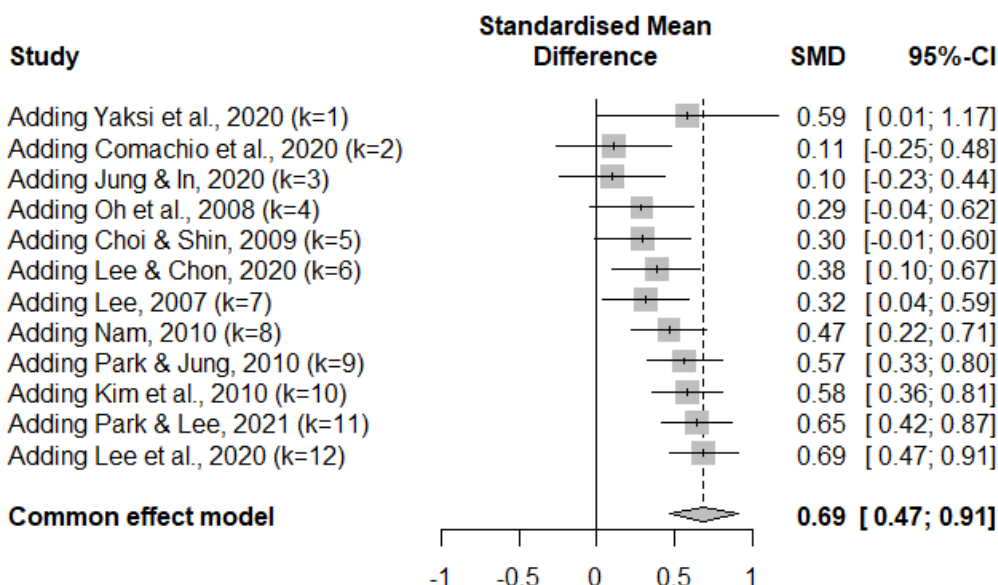


Fig 6. Forest plot of cumulative meta-analysis by sample size

8. 민감성 분석

민감성 분석을 실시한 결과 Comachio 등(2020)의 연구를 제외하면 효과 크기가 .94(95 % CI; .68~1.19)로 효과 크기가 크게 증가하지만 그 밖의 다른 연구들을 각각 제외하였을 때에는 대체로 평균 효과 크기 .69와 비슷한

것으로 나타났다(Fig 7). Buajat plot에서 전체효과 크기에 가장 큰 영향을 미치는 연구는 Comachio 등(2020)으로 나타났으며, 전체 이질성에 영향을 크게 미치는 연구들은 2편(Oh 등, 2008; Park & Jung, 2010)인 것으로 나타났다.

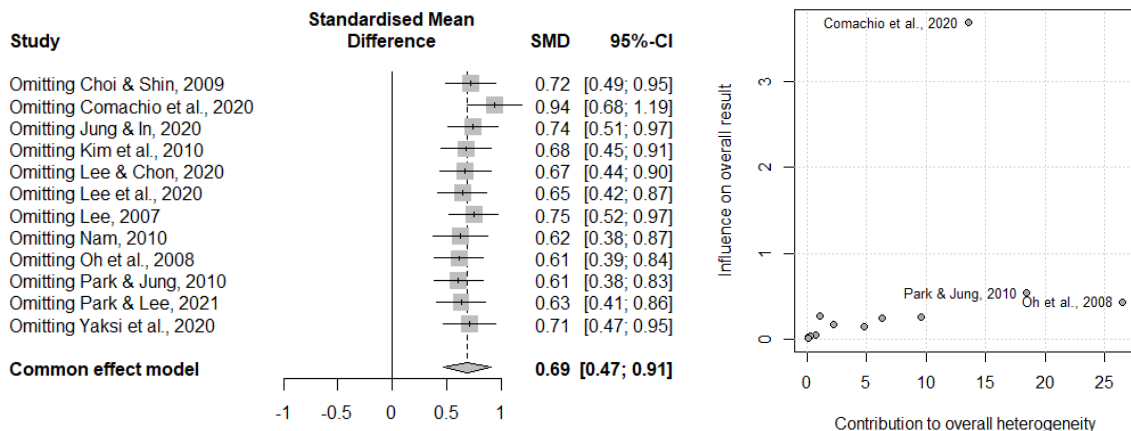


Fig 7. Forest plot and Baujat plot for sensitive analysis

IV. 고찰

본 연구는 2007년 6월부터 2021년 11월까지 국내 데이터베이스에 보고된 통증이 3개월 이상 지속된 만성 허리통증 환자를 대상으로 전기자극을 시행한 연구들 중 최종 선정된 12편의 논문을 토대로 질적 평가와 함께 메타분석을 시행하였다.

최종 선정된 12편의 비특이적 만성 허리통증에 대한 전기자극의 연구들에 대해 메타분석을 실시한 결과 전체효과 크기가 큰 것으로 나타나 전기자극이 통증 감소에 효과적인 것으로 나타났다. 그러나 연구들의 이질성이 상당한 것으로 나타났기 때문에 평균효과 크기보다 효과 크기의 실제 분산을 중심으로 해석을 해야 한다는 선행 연구(Hwang, 2020)에 따라 전체 12편의 연구들 중에서 95 %의 신뢰구간이 '0'을 포함하지 않는 7편의 연구들에서만 효과가 나타난 것으로 분석되었다. 이들 7편 연구들의 특성을 살펴보면 단일집단 실험 전-후 설계 연구가 6편 중에 5편(Lee 등, 2020; Nam, 2010; Oh 등,

2008; Park & Jung, 2010; Park & Lee, 2021)이었다. 통제 집단 실험 전-후 설계 연구는 6편 중 2편(Lee & Chon, 2020; Yaksi 등, 2020)인 것으로 나타나 비특이적 만성 허리통증 환자의 통증 감소에 대한 전기자극의 효과는 단일집단 실험 전-후 설계 연구들에서는 대부분 효과가 나타났지만 통제집단 실험 전-후 설계 연구에서는 일부만 효과가 나타난 것으로 분석되었다. 95 %의 신뢰구간이 '0'을 포함한 연구에서는 전체 5편 중 1편은 단일집단 실험 전-후 설계 연구(Lee, 2007)였으며, 4편의 연구(Choi & Shin, 2009; Comachio 등, 2020; Jung & In, 2020; Kim 등, 2010)들은 모두 통제집단 실험 전-후 설계 연구들이므로 나타났다.

연구들의 이질성이 상당한 것으로 나타났기 때문에 이러한 이질성의 원인에 대한 조절 효과를 분석한 결과 하위그룹분석에서는 연구 설계, 전기자극 유형, 평가 도구에 따라 효과 크기가 다른 것으로 나타났다. 연구 설계에서는 단일집단 사전-사후 설계 연구들의 효과 크기(Hedges's g=2.47)가 통제집단 사전-사후 설계 연구의 효

과 크기(Hedges's  $g=.56$ )보다 훨씬 큰 것으로 나타났다. 이것은 비특이적 만성 허리통증 환자에 대한 전기자극은 적용 전보다 적용 후에 효과가 큰 것으로 나타났지만 다른 중재 방법들과 비교해서는 중간 정도의 효과 크기(Cohen, 1988)가 있는 것으로 분석되었다.

전기자극 유형에서는 감각성 수준의 전기자극, 운동성 수준의 전기자극, 침 전기자극은 모두 95 % 신뢰구간이 '0'을 포함하여 효과적이지 못한 것으로 나타났으며, 아 감각성 수준의 전기자극에서만 효과 크기(Hedges's  $g=3.89$ )가 큰 것으로 나타났다. 아감각성 수준의 전기자극 연구들의 특성을 살펴보면, Oh 등(2008)의 연구에서는 미세전류로 5 Hz, 200  $\mu$ A의 전류 강도로 20분 동안의 전기자극을 총 6주 동안 주 3회로 적용한 연구였으며, Park과 Jung(2010)의 연구는 미세전류를 .5, 50, 100 Hz로 나누어 150  $\mu$ A의 전류 강도로 20분 동안 적용 후 통증의 변화를 분석한 연구였다. 따라서 미세전류는 150~200  $\mu$ A의 전류 강도와 주파수는 관계없이 20분 동안 적용한 경우 비특이적 만성 허리통증 감소에 도움을 줄 수 있는 것으로 판단된다. 나머지 전기자극 유형에서 효과 크기의 차이가 없었던 이유로는 상세한 전기자극의 주파수 및 자극 강도에 대한 정보가 전혀 없어서 포함되지 않았던 점과 이러한 정보가 있었더라도 전극 크기 및 자극 위치, 단속시간비(on off ratio), 맥동 시간(pulse duration) 등의 세부적인 매개변수들에 대한 정보가 대부분 없었던 점 등이 효과 크기의 차이에 영향을 미쳤을 가능성도 배제할 수는 없을 것으로 판단된다.

통증을 감소시키기 위한 전기자극에서는 감각성 경피신경전기자극(sensory TENS)은 주파수 60~120 pps(pulse per second), 맥동 시간 100  $\mu$ s이하, 근수축 이전의 감각성 수준 전류 강도로  $A\beta$  신경을 자극하여 척수 관문기전(spinal gate mechanism)을 활성화하며, 운동성 경피신경전기자극(motor TENS)은 주파수 2~4 pps, 맥동 시간 200~300  $\mu$ s, 강한 근수축 수준의 전류 강도로  $A\delta$  신경을 자극하여 하행성 기전(descending mechanism)을 통한 내재성 아편제(endogenous opiates)를 유리시키고 유해성 경피신경전기자극(noxious TENS)은 주파수 2~4 pps 또는 100~150 pps, 맥동시간 1 ms 이상, 내인성 전류 강도(maximum tolerable level)로 C 섬유를 자극하여 세로토닌 하행성 경로(descending serotonergic tract)를 활성화하여

통증을 억제한다(Denegar 등, 2010). 따라서 통증 감소를 목적으로 한 전기자극 관련 연구들에서는 이러한 자극 조건에 대한 충분한 고려와 상세한 설명이 필요할 것으로 생각된다.

평가 도구에서는 시각상사척도와 전기자극 통증역치 및 압력통증역치에서만 비특이적 만성 허리통증 환자에 대한 전기자극의 통증 감소 효과가 다른 중재 방법과 비교해서 큰 것으로 나타났으며, 특히 전기자극 통증역치 및 압력통증역치에서 가장 큰 효과가 있는 것으로 나타났다. 이와는 다르게 숫자등급척도에서는 95 % 신뢰구간이 '0'을 포함하여 비특이적 만성 허리통증 환자에 대한 전기자극의 통증 감소 효과가 다른 중재 방법들에 비해서 차이가 나지 않는 것으로 나타났다. 따라서 비특이적 만성 허리통증에 대한 전기자극의 통증 감소 효과는 평가 도구에 따라서 달라질 수 있으며, 특히 전기자극 통증역치와 압통각 역치와 같은 평가 도구로 평가하였을 때 통증 감소 효과가 큰 것으로 분석되었다.

다중 메타회귀분석의 결과에서는 대상자들의 나이 및 전기자극의 총치로 횡수에 따라서는 효과의 차이가 나타나지 않는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 분석 대상 연구 12편에서 대상자들의 나이를 살펴보면 최소 22세에서 최고 55세로 모두 60세 이하였고 20~30대의 비교적 젊은 층이 많이 포함되어 있었기 때문인 것과 전기자극은 통증과 관련한 변수에서는 전기자극 횡수와 관계없이 적용 직후 바로 통증 감소에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

그러나 출판편의 검정에서 작은 규모의 연구가 출판 오류에 대한 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 누적 메타분석에서 표본의 크기가 30명 이하로 작은 연구들이 출판편의를 일으키는 원인인 것으로 분석되었기 때문에 본 연구 결과에서 나타난 결과는 신중하게 해석할 필요가 있는 것으로 판단된다.

효과 크기 데이터의 일관성을 검토하기 위해 민감성 분석을 실시한 결과 전체효과 크기에 상당히 큰 영향을 미치는 연구가 1편(Comachio 등, 2020) 포함되어 있었으며, 전체 이질성에 큰 영향을 미치는 연구들이 2편(Oh 등, 2008; Park & Jung, 2010) 포함되어 있었지만 나머지 연구들은 각각 제외해도 평균 효과 크기와 비슷한 것으로 나타나 1편(Comachio 등, 2020)을 제외하고는 대체로

효과 크기는 일관성이 있는 것으로 나타났다. 그러나 연구들에 대한 질적 평가 결과 전체적으로 비뚤림 위험이 높은 것으로 나타나 분석 대상 연구들의 질적 수준이 낮은 것으로 나타났기 때문에 본 연구의 결과에 대해 더욱 신중하게 해석할 필요가 있는 것으로 판단된다. 특히, 무작위배정 과정(randomization process) 영역에서는 무작위배정방법 및 배정 은폐에 대한 구체적인 기술이 대부분 누락되어 있었으며, 결과 측정(measurement of the outcome) 영역에서 중재 결과 평가자가 연구 대상자가 받은 중재를 알고 있는지 및 중재에 대한 지식에 의해 영향을 받았을 가능성이 있는지에 대한 정보 및 결과 보고(reported result) 영역에서 중재 결과 자료가 눈가림이 해제되기 전에 분석되었는지에 대한 정보가 없었기 때문에 앞으로 비특이적 만성 허리통증에 대한 전기자극 관련 연구들의 무작위임상시험 연구 설계 시에 무작위배정 및 배정 은폐와 눈가림과 관련된 부분들에 대해 잘 설계하고 연구 논문에 그에 대한 구체적인 설명을 기술하는 것이 필요할 것으로 생각된다.

본 연구의 제한점은 국내 데이터베이스에 보고된 3개월 이상 지속된 비특이적 만성 허리통증 환자로 한정하였기 때문에 국외 데이터베이스에 보고된 연구 및 특이적 만성 허리통증 환자에 대한 연구로 확대해석하기에는 제한점이 있다.

### V. 결론

본 연구는 2007년 6월부터 2021년 11월까지 국내 데이터베이스에 보고된 통증이 3개월 이상 지속된 비특이적 만성 허리통증 환자를 대상으로 전기자극을 시행한 최종 선정된 12편의 논문을 대상으로 메타분석을 시행한 결과 전기자극이 3개월 이상 지속된 비특이적 만성 허리통증 환자의 통증 감소에 큰 효과가 있는 것으로 나타났다. 또한, 연구 설계와 전기자극 유형, 평가 도구에 따라 효과의 정도 차이가 다른 것으로 나타났으며, 대상자들의 나이 및 총치료 횟수에 따라서는 차이가 없는 것으로 나타났다. 그러나 본 연구에서 비뚤림 위험도 평가의 전체 평가가 대부분 비뚤림 위험이 높은 것으로 나타났으

며, 출판편의가 있는 것으로 나타났기 때문에 본 연구 결과는 신중하게 해석할 필요가 있을 것으로 생각된다. 이러한 연구 결과는 임상에서 3개월 이상 된 비특이적 만성 허리통증 환자의 통증 감소에 대한 전기자극의 치료적 근거를 판단하는 데 도움이 될 수 있을 것으로 생각되며, 앞으로 비특이적 만성 허리통증 환자에 대한 전기자극의 치료 권고와 관련한 판단을 하기 위해서는 질적으로 높은 수준의 연구들이 필요할 것으로 생각된다.

### 참고문헌

Becker BA, Childress MA(2019). Nonspecific low back pain and return to work. *Am Fam Physician*, 100(11), 697-703.

Choi WH, Shin WT(2009). The effect of the application of electrical stimuli and ultrasound on muscle performance and pain in patient with chronic low back pain. *Korean J Sports Sci*, 18(4), 911-918.

Comachio J, Oliveira CC, Silva IFR, et al(2020). Effectiveness of manual and electrical acupuncture for chronic nonspecific low back pain: a randomized controlled trial. *J Acupunct Meridian Stud*, 13(3), 87-93. <https://doi.org/10.1016/j.jams.2020.03.064>.

Cooper HM(1988). *Research synthesis and meta-analysis: a step-by step approach*. Thousand Oaks, California, SAGE Publications, pp.162-217.

Denegar CR, Saliba E, Saliba S(2010). *Therapeutic modalities for musculoskeletal injuries*. 3<sup>rd</sup> ed, Champaign, Illinois, Human Kinetics, pp.148-153.

Dionne CE, Dunn KM, Croft PR, et al(2008). A consensus approach toward the standardization of back pain definitions for use in prevalence studies. *Spine*, 33(1), 95-103. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e31815e7f94>.

Gibson W, Wand BM, O'Connell NE(2017). Transcutaneous electrical stimulation for neuropathic pain in adults. *Cochrane Database Syst Rev*, 9(9), CD011976. Printed Online. <https://doi.org/10.1002/>

- 14651858.CD011976.pub2.
- Haile G, Hailemariam TT, Haile TG(2021). Effectiveness of ultrasound therapy on the management of chronic non-specific low back pain: a systematic review. *J Pina Res*, 14, 1251-1257. <https://doi.org/10.2147/JPR.S277574>.
- Hwang SD(2020). *Meta-analysis using R*. 2<sup>nd</sup> ed, Seoul, Hakjisa, pp.319.
- Jeon HR, Park JS(2012). A meta-analysis about effects of transcutaneous electrical nerve stimulation on postoperative pain. *J Korean Data Analysis Soc*, 14(2), 851-865.
- Johnson MI, Paley CA, Howe TE, et al(2015). Transcutaneous electrical stimulation for acute pain. *Cochrane Database Syst Rev*, (6), CD006142. Printed Online. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD006142.pub3>.
- Jung KS, In TS(2020). Effects of interferential current treatment on pain, disability, and balance in patients with chronic low back Pain: a randomized controlled study. *J Korean Soc Phys Med*, 15(3), 21-27. <https://doi.org/10.13066/kspm.2020.15.3.21>.
- Khadikar A, Odebiyi DO, Brosseau L, et al(2008). Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) versus placebo for chronic low back pain. *Cochrane Database Syst Rev*, (4), CD003008. Printed Online. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD003008.pub3>.
- Kim JY, Rah UW, Cho KH, et al(2010). Effect of repetitive magnetic stimulation and transcutaneous electrical nerve stimulation in chronic low back pain: a pilot study. *J Korea Acad Rehab Med*, 34(6), 725-729.
- Kim SY, Park JE, Seo HJ, et al(2011). NECA's guidance for undertaking systematic reviews and meta-analyses for intervention. 1<sup>st</sup> ed, Seoul, National Evidence-based Healthcare Collaborating Agency, pp.258-259.
- Ko YK, Kim YH(2012). Interventional therapy for chronic low back pain. *J Korean Med Assoc*, 55(6), 562-570. <https://doi.org/10.5124/jkma.2012.55.6.562>.
- Koes BW, van Tulder M, Lin CWC, et al(2010). An updated overview of clinical guidelines for the management of non-specific low back pain in primary care. *Eur Spine J*, 19(12), 2075-2094. <https://doi.org/10.1007/s00586-010-1502-y>.
- Lee JT, Chon SC(2020). Temporal effects of whole body electromyostimulation exercise on muscular strength, pain and joint range of motion in patients with low back pain. *Korean J Neuromuscul Rehabil*, 10(3), 41-51. <https://doi.org/10.37851/kjnr.2020.10.3.5>.
- Lee JW(2007). The effect of silver spike point therapy and electrical acupuncture stimulation on lumbar electrical stimulation pain threshold. Graduate school of Hanseo University, Republic of Korea, Master's thesis.
- Lee SB, Jeong SG, Lee HJ(2020). The effects of joint mobilization and TENS on pain threshold and hormonal changes in patients with Chronic low back pain. *Kor Acad Ortho Man Phys Ther*, 26(1), 65-72. <https://doi.org/10.23101/kaompt.2020.26.1.65>.
- Martimbianco ALC, Porfirio GJM, Pacheco RL, et al(2019). Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) for chronic neck pain (review). *Cochrane Database Syst Rev*, (12), CD011927. Printed Online. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD011927.pub2>.
- Nam KS(2010). The effects of alleviation of low back pain in the multifidus and lumbar extension muscle of the patients with chronic low back pain after PENS medical care. Graduate school of Daegu University, Republic of Korea, Master's thesis.
- Oh HJ, Kim JY, Park RJ(2008). The effects of microcurrent stimulation on recovery of function and pain in chronic low back pain. *J Korean Soc Phy Med*, 3(1), 47-56.
- Park JC, Lee DK(2021). Comparison of the effects of scrambler and transcutaneous electrical nerve stimulation on pain, functional disability, and depression in patients with chronic low back pain. *PNF and Movement*, 19(3), 383-390. <https://doi.org/10.21598/JKPNFA.2021.19.3.383>.
- Park JS, Jung HS(2010). The influence microcurrent on pain and function of patients with chronic back pain. *J Korean Acad Clin Elec*, 8(1), 1-5. <https://doi.org/10.5627/KACE.2010.8.1.001>.

Toth MJ, Tourville TW, Voigt TB, et al(2020). Utility of neuromuscular electrical stimulation to preserve quadriceps muscle fiber size and contractility following anterior cruciate ligament injury and reconstruction: a randomized, sham-controlled, blinded trial. *Am J Sports Med*, 48(10), 2429-2437. <https://doi.org/10.1177/0363546520933622>.

Yakisi E, Ketenci A, Baslo MB, et al(2021). Does transcutaneous electrical nerve stimulation affect pain, neuropathic pain, and sympathetic skin responses in the treatment of chronic low back pain? A randomized, placebo controlled study. *Korean J Pain*, 34(2), 217-228. <https://doi.org/10.3344/kjp.2021.34.2.217>.