

만성통증에 대한 마음챙김의 뇌 생리학적 효과: 체계적 고찰[†]

고 은 미[‡]

덕성여자대학교 웰빙건강심리센터 수석 연구원

마음챙김 훈련은 뇌 활성화를 조절함으로써 신체적 통증 감소에도 직접적인 영향을 미친다는 연구들이 지속적으로 증가하고 있다. 하지만 대부분의 연구들이 건강한 성인을 대상으로 의도적인 통증을 유발한 후 통증조절 효과를 확인하였다. 따라서 그 결과를 만성통증까지 일반화시킬 수 없다는 한계가 있다. 본 연구는 이러한 한계를 해결하기 위해 실제 만성통증으로 고통을 받고 있는 환자들을 대상으로 일정기간 마음챙김을 훈련시킨 후 그 효과를 뇌 생리학적으로 검증한 연구에 초점을 두었다. 이를 위해 PubMed와 Cochrane CENTRAL 데이터베이스를 이용하여 체계적 문헌고찰을 실시하였다. 포함기준에 충족된 연구는 총 4편이었고, 추가적으로 건강한 성인을 대상으로 한 4편의 연구와 비교하였다. 주관적 척도로 측정된 통증정도는 만성통증, 급성통증 모두 통제집단에 비해, 그리고 훈련 전에 비해 마음챙김 훈련 후 유의한 통증 감소를 보고하였다. 주관적 척도로 측정된 마음챙김 기술의 변화는 마음챙김 척도에 따라 차이를 보였다. 만성통증 연구에서는 2편의 연구가 CAMS-R과 KIMS로 마음챙김 변화정도를 측정하였고, 급성통증 연구에서는 2편의 연구가 FMI로 측정하였다. 그 결과, CAMS-R로 측정된 연구에서만 마음챙김 훈련 후 유의한 변화를 보이지 않았다. fMRI 측정 결과 만성통증, 급성통증 모두에서 마음챙김 훈련은 고차 뇌 작용인 하향 통증조절경로를 활성화하여 통증의 감소를 가져왔다. 다만, 평균 10년 이상 훈련경험이 있는 경우 하향식 조절 대신 상향식 조절과 관련된 뇌 활성화를 보였다. 마음챙김의 수준에 따라 통증을 조절하는 뇌의 기제도 달라질 수 있음을 시사한다. 통증조절에 있어 마음챙김의 뇌 기제를 검증하는 연구는 아직 초기단계로 앞으로 더 많은 연구가 진행되어야 한다. 본 연구는 통증관리에 있어 마음챙김의 뇌 생리학적 효과를 만성통증과 급성통증으로 구분해서 비교한 첫 시도라는 점에서 의의가 있다. 본 연구 결과는 통증관리에 있어 마음챙김 훈련이 만성통증과 급성통증의 통증감소에 유의한 결과를 가져올 수 있음을 재확인하였다. 끝으로 향후 연구를 위한 제안을 논하였다.

주요어: 만성통증, 체계적 고찰, 마음챙김, 기능성자기공명영상, fMRI, Neuroimaging

[†] 이 논문은 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2020S1A5B5A17088596)

[‡] 교신저자(Corresponding author): 고은미, (132-714) 서울특별시 도봉구 삼양로 144길 33 덕성여자대학교 웰빙건강심리센터 수석연구원, Tel: 02-901-8167, E-mail: prohealer24@duksung.ac.kr

통증은 개인에게 실제 또는 잠재적 손상을 경고하는 적응적인 신호다. 통증 감각 신호 덕분에 인체는 스스로를 보호할 수 있으며, 적절한 치료 행위로 이어질 수 있다. 신체 손상에 대한 즉각적인 반응인 급성통증은 발생원인이 비교적 명확하기에 빠른 치료가 가능하며, 통상 6-8주면 통증 증상도 사라진다. 그러나 통증이 사라지지 않고 3개월 이상 지속된다면 만성통증으로 분류한다 (Gatchel, Peng, Peters, Fuchs, & Turk, 2007). 통증 지속기간이 장기화될수록 통증을 일으킨 원인은 점점 더 불명확해지며, 다양한 요인들이 복합적으로 작용하기에 치료하기가 쉽지 않다.

만성통증은 신체적, 심리적, 정신적으로 영향을 미치는 개인의 주관적인 경험이며 (Kaiser, Mooreville, & Kannan, 2015), 감각적, 인지적, 정서적 요인들 간의 상호작용에 의한 결과라고 볼 수 있다 (Zeidan, Grant, Brown, McHaffie, & Coghill, 2012). 이러한 이유로 만성통증 그 자체를 질환으로 보기도 한다 (Simons, Elman, & Borsook, 2014).

만성통증의 문제는 개인의 삶의 질을 떨어뜨릴 뿐만 아니라, 뇌 구조의 변형과 함께 통증조절회로가 변경된다는 것이다 (May, 2008; Schweinhardt & Bushnell, 2010). 통증기간이 길어질수록 다양한 영역에서 회백질의 감소를 보이며, 특히 통증조절과 관련된 영역으로 알려진 시상과 전두엽이 가장 큰 영향을 받는다 (Schweinhardt & Bushnell, 2010). 다행인 점은 통증이 사라지면 회백질의 농도 또한 기준선 수준으로 되돌아온다는 것이다 (Gwilym, Filippini, Douaud, Carr, & Tracey, 2010; Obermann et al., 2009). 따라서 만성통증 환자들에게 통증 감소는

삶의 질 회복, 그 이상으로 중요한 의미를 갖는다.

지속되는 통증의 감소를 위해서 1차적으로 약물치료나 수술적 치료를 실시한다. 이러한 방법에 한계를 보일 경우 심리적 접근법이 적용된다. 대표적인 심리중재방법으로는 행동주의에 기반한 행동치료 및 인지행동치료 등이 있으며, 최근에는 행동주의의 제3의 흐름인 마음챙김을 기반으로 한 중재법들이 활발하게 적용되고 있다. 차이점은 행동주의 접근법의 경우 주로 통증에 대한 부정적인 사고를 바꾸거나, 통증을 일으키는 행동에 직면하게 하여 두려움을 감소시키는데 중점을 둔다면, 마음챙김 접근법은 통증으로 인한 불편한 신체감각, 사고, 정서에 대해 비판단적, 비평가적 관찰을 함으로써 통증에 대한 저항감을 줄이고 현재에 집중하도록 도와준다는 것이다.

마음챙김 접근법이 만성통증 관리에 재조명을 받게 된 데에는 신체적 · 심리적 효과를 넘어 뇌의 다양한 영역의 활성화와 함께 회백질의 두께와 밀도를 높인다는 연구결과들이 지속적으로 보고되면서 부터다 (Creswell et al., 2016; Davidson et al., 2003; Hölzel et al., 2008; Hölzel et al., 2011; Lazar et al., 2005; Wells et al., 2013). 이에 더해 마음챙김이 뇌 영역의 활성화를 조절함으로써 통증감소에도 직접적인 영향을 미치고 있음을 보여주는 연구결과들도 꾸준히 보고되고 있다 (Gard et al., 2012; Harrison, Zeidan, Kitsaras, Ozcelik, & Salomons, 2019; Zeidan et al., 2011; Zeidan et al., 2015).

마음챙김 훈련을 통해 뇌 활성화 및 피질 두께의 변화를 검증한 연구들이 쌓이면서 이러한 연구결과들을 체계적 고찰을 통해 정리한 연구들도 꾸준히 발표되고 있다 (Chiesa, Calati, & Serretti,

2011; Falcone & Jerram, 2018; Fox et al., 2014; Gotink, Meljboom, Vernooij, Smits, & Humink, 2016; Melis et al., 2022; Shen, Zhou, Chen, Castellanos, & Yan, 2020; Young et al., 2018). 그에 비해 통증조절에 미치는 마음챙김의 뇌 생리학적 기제를 검증한 연구들은 아직 초기 단계로 그동안의 결과들을 체계적 고찰을 통해 정리한 연구들은 몇 편 되지 않는다(Bilevicius, Kolesar, & Kornelsen, 2016; Nascimento, Oliveira, & DeSantana, 2018; Wang, Bailey, Payne, Fitzgerald, & Fitzgibbon, 2021). 특히 이들 연구들에는 몇 가지 제한점이 있다. 첫째, 체계적 고찰에 포함된 연구들 대부분이 건강한 참여자를 대상으로 물리적 자극을 가해 통증을 유발한 후 마음챙김의 통증조절효과를 검증한 연구들을 대상으로 했다는 점이다. 급성통증과 만성통증 처리에는 분명 유사성이 있지만, 동일한 통증자극에 대해 만성통증 환자의 경우 건강한 일반인과는 다르게 통증을 처리한다(Schweinhardt & Bushnell, 2010). 만성 통증 환자의 경우 일반인에 비해 피부에 가해지는 다양한 자극에 대해 이질통 및 통각과민 징후를 보인다(Apkarian, Hashmi, & Baliki, 2011). 무엇보다 외부 자극이 없는 상태에서도 통제되지 않고 진행되는 통증이 있다는 점이 큰 특징이다(Apkarian et al., 2011). 실제 만성통증 환자들이 겪는 이러한 자발적 통증(spontaneous pain)은 만성통증의 종류와는 상관없이 공통적으로 뚜렷한 변동성을 가지고 있으며, 바로 이 점이 통증자극을 통해 일시적인 통증을 경험하는 건강한 참여자가 흉내 낼 수 없는 특징이다(Apkarian et al., 2011). 둘째, 마음챙김 훈련뿐 아니라 다양한 접근법들(인지행동치료, 자

비명상, 초월명상, 만트라, 요가 등)이 혼합되어 있다는 점이다. 심리중재법이라는 큰 틀에서는 이 모든 방법들이 포함될 수 있으나 접근 방향에서 서로 차이가 나며, 그 효과 및 기제 또한 차이가 날 가능성도 높다. 따라서 마음챙김 훈련으로 인한 변화라고 결론을 내리기 어렵다.

마음챙김 훈련이 통증을 조절하는 데 있어 어떻게 도움이 되는지 보다 명료하게 밝히기 위해서는 실제 통증을 안고 살아가는 만성통증 환자를 대상으로 마음챙김을 일정기간 훈련시킨 후 뇌 생리학적 변화를 관찰한 실험연구들뿐만 아니라 고찰 대상을 좁힐 필요가 있다.

이에 본 연구는 만성통증 환자를 대상으로 일정기간 마음챙김을 훈련시킨 후, 뇌 활성화의 변화를 비교한 연구들의 결과를 체계적 고찰을 활용하여 종합적으로 정리해서 살펴보고자 한다. 마음챙김의 통증조절 기전을 밝히는 작업은 아직 초기단계이지만 현재까지 진행된 연구들의 전체적인 흐름을 파악하고, 향후 연구의 방향에 대한 단초를 제공하는 데 본 연구가 도움이 될 것이라 생각한다.

자료수집 방법 및 절차

본 연구는 만성통증 환자를 대상으로 마음챙김 훈련 실시 전과 후의 뇌 활성화의 변화를 fMRI를 통해 검증한 결과를 종합적으로 분석하기 위한 연구다. 이를 위해 체계적 문헌고찰 지침인 PRISMA 가이드 라인을 바탕으로 문헌검색과 자료 분석을 실시하였다. 문헌 검색에 앞서 체계적 문헌 고찰의 핵심 질문요소(PICOTS-SD)에 따른

선별기준은 다음과 같다.

연구 참여자는 성인 만성통증 환자로 제한하였고, 개입은 프로그램명에 마음챙김(mindful or mindfulness)이 들어간 연구로만 제한하였다. 비교중재는 제한을 두지 않았고, 중재결과는 fMRI를 통한 뇌생리적 변화로 제한하였다. 시점, 세팅, 연구 설계에는 제한을 두지 않았다. 연구 유형은 동료심사를 거친 실험연구로 제한하였다.

문헌 선정을 위해 주요(COre) 데이터베이스인 PubMed 와 Cochrane CENTRAL을 이용하여 주제어 “chronic pain”, “mindfulness”, “fMRI”을 조합하여 검색을 실시하였다. 출판년도와 언어는 제한하지 않았다.

PubMed에 입력한 검색 식은 다음과 같다.

“chronic pain” or “pain” or “chronic disease” And “mindfulness” or “meditation” or “mindful*” or “mindfulness meditation” or “MBSR” And “fMRI” or “functional MRI” or “resting-state” or “functional connectivity” or “voxel-based morphometry” or “functional magnetic resonance imaging”

문헌 검색과정에서 PubMed 12개, Cochrane CENTRAL 44개의 문헌이 검색되었고, 수기검색으로 2편이 추가되어 총 58개의 문헌이 선택되었다. 이 중 중복된 8개의 문헌을 제외하고 50개의 문헌을 선별하였다. 이후 제목, 초록을 확인하여 26편의 문헌이 제외되었고, 총 24편의 문헌의 전체 원문내용을 점검하였다. 그 중 20편의 문헌이 문헌선정기준 범위에 벗어나서 제거하였다. 그 구체적인 제거 기준 및 제거 문헌 수는 다음과 같다.

대상자가 만성통증환자가 아닌 건강한 성인인 경우 10편, 전체 원문이 없는 경우 3편, 동료심사가 안된 논문 3편, 마음챙김 연구가 아닌 경우 2편, 실험 참여자가 성인이 아닌 경우 1편, 실험연구가 아닌 개관연구인 경우 1편. 이상 20편의 문헌을 제외한 총 4편의 논문이 본 연구의 문헌 선별기준에 부합되었다.

하지만 의미 있는 정보를 제공하기에는 논문수가 적다고 판단하여 건강한 성인을 대상으로 한 논문을 비교분석에 추가하였다. 앞의 문헌선정 과정에서 건강한 성인을 대상으로 하여 제외된 논문은 총 10편이었다. 그 중 4편만이 의도적인 통증(급성통증)을 유발한 후 마음챙김 훈련 전과 후의 뇌 생리학적 변화를 검증한 연구에 해당하였다.

따라서 본 연구에서는 만성통증환자를 대상으로 한 논문 4편, 그리고 건강한 성인을 대상으로 통증을 유발한 논문 4편을 함께 비교분석하였다.

결 과

연구특성

만성통증환자

일반적인 통증환자를 대상으로 한 Su 등(2016)의 연구를 제외한 3편의 연구는 요통(Braden et al., 2016), 이명(Roland et al., 2015), 편두통(Seminowicz et al., 2020)의 특정 만성통증이 있는 환자를 대상으로 한 연구들이었다. 전체 참여자 수는 168명이었고, 평균연령은 36~55세였다.

마음챙김 중재기법으로 4편의 연구 모두 Kabat-Zinn이 개발한 MBSR을 적용하였다. 하지

만 연구 마다 시행 횟수와 기간에서 차이를 보였다. Braden 등(2016)의 연구는 4회기(4주) 단축형을 매주 2시간 실시하였고, Su 등(2016)의 연구는 6회기(6주) 매주 2시간 30분, Roland 등(2015)의 연구는 표준 횟수인 8회기(8주)를 매주 2시간, Seminowicz 등(2020)의 연구는 8회기까지는 매주 2시간씩 실시하다 그 다음 주부터는 2주에 1번씩 4회기를 실시하여 기간은 16주, 프로그램 실시는 총 12회기로 4편의 연구 중 가장 길었다. 연구 설계 특징을 살펴보면 단일집단의 사전·사후 효과를 비교한 Roland 등(2015)의 연구를 제외하고, 3편의 연구모두 비교집단으로 적극적 통제집단(active control group)을 두었다. 적극적 통제집단에서 실시한 프로그램으로는 스트레스 감소 독서(stress reduction reading) 프로그램, 두통감소를 위한 스트레스관리(stress management for headache)프로그램, 처치집단과 동일한 MBSR 프로그램이었다. 4편의 연구 모두 자기보고 척도를 사용하여 통증의 변화를 측정하였고, 두 편의 연구(Roland et al., 2015; Su et al., 2016)는 마음챙김 척도(CAMS-R, KIMS)를 사용하여 마음챙김의 변화를 측정하였다.

건강한 성인

4편의 연구 모두 통증이 없는 건강한 성인을 대상으로 한 연구들이었으며, 전체 참여자 수는 169명이었다. 당일 마음챙김을 훈련시킨 후 통증 자극에 대한 반응을 측정한 Gard 등(2012)의 연구를 제외하고, 3편의 연구모두 4일간 20분씩 짧은 마음챙김 훈련을 실시하였다.

연구 설계 특징을 살펴보면 단일집단의 사전·사후 효과를 비교한 Zeidan 등(2011)의 연구를 제

외하고, 3편의 연구모두 비교집단으로 적극적 통제집단을 두었다. Riegner 등(2021)의 연구에서는 책 듣기, Zeidan 등(2015)의 연구에서는 두 개의 비교집단(위약크림, 가짜 마음챙김)과 함께 통제집단으로 책 듣기 집단을 두었고, Gard 등(2012)의 연구에서는 명상가와 비명상가로 집단을 구분한 후 동일한 짧은 마음챙김 훈련을 실시하였다. 4편의 연구 모두 자기보고 척도를 사용하여 통증의 변화를 측정하였고, 마음챙김 척도(FMI)를 사용하여 마음챙김의 변화를 측정한 연구는 두 편(Zeidan et al., 2011; Zeidan et al., 2015)이었다.

통증과 마음챙김 측정 결과

만성통증환자

4편의 연구 모두 MBSR 훈련 후 통증 변화에서 유의한 결과를 보고하였다. 단일집단으로 MBSR을 실시한 Roland 등(2015)의 연구에서는 프로그램 종료 후 이명장애지수(THI)와 이명기능지수(TFI) 모두 감소하였다($p=.012$, $p=.008$). 4주 추후 조사에서도 모두 유의한 감소를 유지하였다($p=.01$, $p=.002$). 통증의 높고 낮음에 따라 집단을 구분해서 MBSR을 실시한 Su 등(2016)의 연구에서는 통증이 높은 그룹에서만 통증감소를 보고하였다($p=.028$). Braden 등(2016)의 연구에서는 MBSR 집단에서만 요통이 감소하였다($p=.04$). Seminowicz 등(2020)의 연구에서는 두통일, 두통 영향지수, 편두통 일, 두통 강도를 측정한 결과 MBSR 집단만이 두통 강도를 제외하고 모두 유의하게 감소하였다($p=.04$, $p=.08$, $p=.0008$). 이러한 효과는 20주 까지 유지되었고($p=.04$, $p=.02$, $p=.004$), 52주 부터는 두 집단 간의 차이를 보이지

않았다. 두통 강도의 경우에는 세 시점 모두에서 집단 간 차이를 보이지 않았다.

마음챙김을 측정하는 두 편의 연구결과는 서로 달랐다. KIMS로 마음챙김 변화를 측정하는 Su 등(2016)의 연구에서는 통증이 높은 그룹에서만 마음챙김 기술이 상승하였다($p=.031$). CAMS-R로 측정하는 Roland 등(2015)의 연구에서는 마음챙김의 사전·사후 점수에 유의한 변화가 없었다.

건강한 성인

4편의 연구 모두 짧은 마음챙김 훈련 후 통증 변화에서 유의한 결과를 보고하였다. 단일집단으로 단기 마음챙김 효과를 검증한 Zeidan 등(2011)의 연구에서는 VAS(visual analog scale)를 이용해 통증강도와 통증불쾌감을 측정하는 결과 통증강도는 40%, 통증불쾌감은 57%가 감소하였다. 명상가와 비명상가를 구분하여 통증 자극 전 지시문을 통해 짧은 마음챙김훈련을 시킨 Gard 등(2012)의 연구에서는 VAS를 이용해 통증불쾌감과 통증예상을 측정하는 결과, 명상가 집단에서만 마음챙김 상태 동안 통증불쾌감은 22% ($p=.02$), 예상불안은 29% ($p=.009$)감소하였다. 책 듣기 훈련과 비교한 Riegner 등(2021)의 연구에서는 VAS를 이

용해 통증강도와 통증불쾌감을 측정하는 결과, 마음챙김 그룹에서만 통증강도(-32%)와 통증불쾌감(-33%)이 감소하였다.

위약크림, 마음챙김, 가짜 마음챙김(sham mindfulness), 책 듣기 조건을 함께 비교한 Zeidan 등(2015)의 연구에서는 VAS를 이용해 통증강도와 통증불쾌감을 측정하는 결과, 책 듣기를 제외한 세 집단 모두에서 통증강도와 통증불쾌감이 감소하였다. 세부적으로 비교한 결과 마음챙김 훈련은 위약크림보다 통증강도($p=.032$)와 통증불쾌감($p<.001$)을 더 감소시켰고, 가짜 마음챙김 보다 통증강도($p=.03$)와 통증불쾌감($p=.043$)을 더 감소시켰다.

두 편의 연구가 FMI로 마음챙김의 변화를 측정하였다. Zeidan 등(2011)의 연구에서는 훈련 전 보다 마음챙김 기술이 14% 증가하였으며, Zeidan 등(2015)의 연구에서는 위약크림집단은 -3% 감소하였고, 책 듣기 집단은 2%, 가짜 마음챙김 집단은 0.03% 증가한 반면, 마음챙김 집단의 경우는 16%로 가장 높게 증가하였다.

이상의 만성통증환자 및 건강한 성인대상 연구 특성 및 통증과 마음챙김 관련 결과는 표 1과 표 2에 자세히 정리해 두었다.

표 1. 만성통증 연구 특성 및 통증과 마음챙김 관련 결과

저자명 (출판년도순)	Seminowicz et al (2020)	Braden et al (2016)	Su et al (2016)	Roland et al (2015)
표본 수	삼화성 두통 98명 (50명 vs 48명)	만성요통 33명 (12명 vs 11명)	높은 통증 18명 낮은 통증/무통증 16명	만성이명 13명
평균나이 (SD)	MBSR:36 (-) 통제집단:36 (-)	MBSR: 46 (11.3) 통제집단: 43(2.5)	total: 38.59 (-)	MBSR: 55 (-)

중재(기간)/ 진행시간	MBSR (8주/ 12회기)/ 2시간 두통을 위한 스트레스 관리(8주/ 12회기)/2시간	MBSR (4주)/2시간 스트레스감소독서 (4주)/ 2시간	MBSR (6주)/ 2.5시간 MBSR (6주)/ 2.5시간	MBSR (8주)/ 2시간
추후기간	20주/ 52주	-	-	4주
통증 척도	Headache day Headache Impact Test Migraine days Headache intensity	Oswestry Low Back Pain	SFMPQ	THI, TFI
마음챙김 척도	-	-	KIMS	CAMS-R
주관적 측정 결과	<ul style="list-style-type: none"> • 프로그램 종료 후 MBSR 그룹에서만 두통일 및 두통영향지수, 편두통 일수가 감소 ($p=.04, p=.08, p=.0008$) • 20주 후 MBSR 그룹에서만 유의한 결과가 지속됨 ($p=.04, p=.02, p=.004$) • 52주 후에는 집단 간 차이가 없어짐. ($p=.12, p=.10, p=.12$) • 두통 강도의 경우 세 시점 모두에서 두 집단 간의 유의한 감소 보이지 않음 	MBSR 그룹에서만 요통감소($p=.04$)	<ul style="list-style-type: none"> • 높은 통증 그룹에서만 통증 감소($p=.028$) • 높은 통증 그룹에서만 마음챙김 증가 ($p=.031$) 	<ul style="list-style-type: none"> • 이명장애지수 감소 ($p=.012$) 4주후 ($p=.01$) • 이명기능지수 감소 ($p=.008$) 4주후 ($p=.002$)

주. (-):보고되지 않음, MBSR (mindfulness based stress reduction), SFMPQ (Short Form McGill Pain Questionnaire), THI (Tinnitus Handicap Index), TFI (Tinnitus Functional Index), KIMS (Kentucky Inventory of Mindfulness Skills), CAMS-R (Cognitive and Affective Mindfulness Scale-Revised)

표 2. 건강한 성인대상 연구 특성 및 통증과 마음챙김 관련 결과

저자명 (출판년도순)	Riegner et al (2021)	Zeidan et al (2015)	Gard et al (2012)	Zeidan et al (2011)
표본 수	건강한 성인 40명 (20명 vs 20명)	건강한 성인 80명 (각 집단에 20명)	건강한 성인 34명 (명상가 17명, 비명상가 17명)	건강한 성인 15명
평균나이 (SD)	-	-	-	total: 26 (-)

중재(기간)/ 진행시간	마음챙김 훈련 (4일/20분) 책 듣기 (4일/20분)	마음챙김 훈련 (4일/20분) 위약크림 (4일/20분) 가짜 마음챙김 훈련 (4일/ 20분) 책 듣기(4일/ 20분)	마음챙김 훈련 (통증자극 전 짧은 마음챙김 훈련)	마음챙김 훈련 (4일/ 20분)
추후기간	-	-	-	-
통증 척도	통증강도 통증불쾌감	통증강도 통증불쾌감	통증예상 통증불쾌감	통증강도 통증불쾌감
마음챙김 척도	-	FMI	-	FMI
주관적 측정 결과	<ul style="list-style-type: none"> 마음챙김 그룹에서 만 통증강도(-32%) 와 불쾌감(-33%) 감 소($p<.001$). 	<ul style="list-style-type: none"> 모든 인지적 조작(즉, 마음챙김, 위약크림, 가짜 마음챙김)에서 통증 강도와 통증불쾌감 감소 마음챙김은 위약크림보다 통증강 도($p=.032$)와 통증불쾌감($p<.001$) 등급을 더 낮춤 마음챙김은 가짜 마음챙김보다 통 증강도($p=.03$)와 통증불쾌감($p=.043$) 등급을 더 낮춤 마음챙김 집단이 마음챙김 점수 (FMI)가 더 높았음(16%증가); 위약 (-3%), 가짜 마음챙김(+0.03%), 책 듣기(+2%) 	<ul style="list-style-type: none"> 명상가 집단에서 마음챙김 상태 동안 통증불쾌감을 22% ($p=.020$), 예상불안을 29% ($p=.009$) 감소 	<ul style="list-style-type: none"> 마음챙김훈련 후 통 증강도는 40% 감소 마음챙김훈련 후 통증불쾌감은 57% 감 소 마음챙김훈련 후 마 음챙김 기술이 14% 증가

주. (-):보고되지 않음, 가짜 마음챙김 훈련(Sham mindfulness, 마음챙김 기반 지침인 비평가적인 방식으로 호흡에 주의를 기울이게 하는 대신 심호흡을 하도록 안내함. 그 이외에 모든 측면에서 마음챙김 훈련과 동일하게 설계됨), FMI (Freiburg Mindfulness Inventory)

fMRI 결과

만성통증환자

4편의 연구 모두 MBSR 실시 전과 후 참여자들의 뇌 활성화 차이를 비교하였다. MBSR 훈련 이외에 1편의 연구(Seminowicz et al., 2020)가 통증유발 자극을 추가로 실시하였고, 2편의 연구가 인지적 과제(Seminowicz et al., 2020)와 정서적 과제(Braden et al., 2016)를 추가 실시하였다. 4편의 연구 모두 뇌 변화를 측정하는데 혈중 산소농도 의존신호(Blood Oxygen Level-Dependent, BOLD)을 활용하였다.

Seminowicz 등(2020)의 연구에서는 1년 이상

삼파성 편두통(episodic migraine)환자를 대상으로 두 개의 과제를 실시하였다. 첫 번째 과제인 열 자극 통증유발 과제 결과 두 집단 간 유의한 변화가 관찰되지 않았다. 두 번째 과제인 인지적 도전 과제 결과 MBSR집단에서만 유의한 변화가 관찰되었다. 우선 양측 설상엽(cuneus)과 우측 두정덮개(parietal operculum)간의 활성화가 유의하게 감소하였다. 설상엽은 숙련된 명상가나 MBSR을 훈련 받은 사람들이 주의를 집중할 경우 활성화되는 영역이며(Berkovich-Ohana, Harel, Hahamy, Arieli, & Malach, 2016; Kilpatrick et al., 2011), 두정덮개는 통증에 의해 활성화되고 인지적 도전에 의해 비활성화되는 영

역이다(Seminowicz & Davis, 2007). 그리고 좌측 배전섬엽(dorsal anterior insular)과 우측 후두정 피질(posterior parietal cortex)과 우측 설상엽(cuneus)에 대한 좌측 배전섬엽의 연결이 감소됨을 보였다. 이 세 영역은 인지적 도전과제에 의해 활성화되는 EMN(extrinsic mode network)영역의 일부이며, 서로 강하게 연결되어 있다. 이러한 연결성이 감소되었다는 것은 MBSR 훈련을 통해 인지적 효율성이 증가했다는 것을 의미한다(Seminowicz et al., 2020).

만성 요통(chronic back pain)환자를 대상으로 한 Braden 등(2016)의 연구에서는 ‘슬픔유도과제(sadness induction task)’로 슬픈 감정을 유도하는 이미지와 음악을 들려주고 기분이 바뀔 때마다 단추를 누르게 하여 기분변화를 얼마나 빨리 알아채는지를 측정하였다. 통제집단(독서)과 비교해서 MBSR 집단에서만 양쪽 슬하전두대상피질(subgenual anterior cingulate cortex, sgACC) 그리고 왼쪽 복측측전전두피질(ventrolateral prefrontal cortex, vlPFC) 영역에서 유의한 활성화를 보였다. 이 영역들은 정서조절과 관련된 영역으로 알려져 있다(Braden et al., 2016). 또한 슬픔 강도(sad valence)는 MBSR 훈련 전과 후에 유의한 변화가 없었지만 훈련 후에는 왼쪽 슬하전두대상피질(sgACC)과 슬픔 강도간의 유의한 정적상관을 보였다. 이는 MBSR 훈련을 통해 슬하전두대상피질의 활성화가 증가되었음을 의미한다.

휴지기 기능적 연결성(resting state functional connectivity)을 비교한 Su 등(2016)의 연구에서는 MBSR 훈련 후에 높은 통증 그룹(high pain group)에서 전섬엽(anterior insular cortex,

AIC)과 배전측중간대상피질(dorsal anterior midcingulate cortex, daMCC)간에 유의한 상호작용을 보였고, AIC-daMCC의 상호작용은 통증점수(SFMPQ)와 유의한 부적상관을 보였다. 즉, MBSR 훈련을 통해 AIC-daMCC간의 연결성이 높아지면서 통증이 감소되었음을 의미한다.

만성 이명환자를 대상으로 한 Roland 등(2015)의 연구에서는 MBSR 훈련 전과 후의 휴지기 기능적 연결성을 비교하였다. 그 결과 좌측 하전두회(inferior frontal gyrus, IFG)가 좌측 상측두회(superior temporal gyrus), 후방대상피질(posterior cingulate cortex, PCC), 시각피질(visual cortex) 이 세 영역과 유의한 연결성을 보였고, 우측 하전두회(IFG)와 후방대상피질 간에도 유의한 연결성을 보였다. 또한, 좌측 전방덮개(anterior operculum, aO)와 좌측 대상피질, 그리고 우측 전방덮개(aO)와 좌측 측두, 두정피질(temporal, parietal cortex), 우측 전두엽(frontal), 좌측 상측두회 간에도 유의한 연결성 증가를 보였다. 이는 MBSR 훈련을 통해 주의 네트워크(attention network)와 관련된 영역 내에서 기능적 연결성의 변화가 일어났음을 의미한다(Roland et al., 2015).

건강한 성인

4편의 연구 모두 짧은 마음챙김 훈련 전과 후 참여자들의 뇌 활성화 차이를 비교하였다. 3편의 연구는 통증유발 자극으로 열 자극을 실시하였고, Gard 등(2012)의 연구에서는 날카로운 전기자극을 좌측 하완에 실시하였다. 이외 추가적인 과제를 실시한 연구는 없었다. 두 편의 연구(Gard et al., 2012; Reigner et al., 2021)에서는 뇌 변화를 혈중 산소농도 의존신호(BOLD)로 측정 한 반면, 두 편

의 연구(Zeidan et al., 2011; Zeidan et al., 2015)에서는 동맥스핀표지(arterial spin labeled) MRI를 활용해서 측정하였다.

Riegner 등(2021)의 연구에서는 휴식할 때와 비교했을 때, 마음챙김 훈련은 시상과 복외측 전전두피질(vIPFC), 우측 전섬엽(AIC) 사이에 강한 연결성을 보였고, 양측 시상간의 더 큰 비동조화(decoupling)를 보였다. 또한 마음챙김으로 인한 통증 완화는 시상과 후섬엽(posterior insular cortex, PIC) 및 중뇌수도관주위 회백질(periaqueductal gray matter, PAG)과의 강한 비동조화와 관련이 있었고, 복외측전전두피질(vIPFC)과의 연결성과도 관련이 있었다. 이는 마음챙김이 중뇌수도관주위 회백질(PAG)에 의해 유발되는 하향억제를 우회하는 독특한 전전두피질-시상피질(PFC-thalamocortical) 매개 통증 조절 기제와 관련 있음을 시사한다.

Zeidan 등 (2015)의 연구에서는 책 듣기를 제외한 세 조건 모두에서 통증강도 및 통증불쾌감의 유의한 감소를 보였다. 하지만 통증감소와 관련된 뇌 영역은 서로 상이하였다. 마음챙김 훈련을 통한 통증감소는 안와전두피질(OFC), 슬하전방대상피질(sgACC), 전섬엽피질(AIC)의 활성화와 관련이 있었다. 이들 영역은 고차 뇌 영역으로 통증의 인지적 조절과 관련된 뇌 영역이다. 또한 휴식상태, 위약크림, 가짜 마음챙김과 비교했을 때, 마음챙김은 통각정보에 중요하게 관여하는 뇌 영역인 시상과 중뇌수도관 회백질(PAG)의 신경 활성화를 유의하게 감소시켰다. 위약크림에 의한 통증감소의 경우는 전방대상회(ACC)와 등외측전전두피질(DLPFC)의 활성화와 관련이 있었고, 통각처리와 관련된 뇌 영역인 양측 후섬엽(PIC)과 이차 체감

각피질(SII)의 비활성화와 관련이 있었다. 가짜 마음챙김 훈련을 통한 통증감소는 중요한 신경활동과 상관관계가 없었고, 이완반응 기제인 호흡률의 큰 감소와 관련이 있었다. Zeidan 등(2015)의 연구는 마음챙김 훈련이 위약이나 이완과는 전혀 다른 신경기제를 통해 통증을 조절한다는 것을 보여준다.

Gard 등(2012)의 연구에서는 명상가(평균 10년 이상 위빠사나 훈련)와 비명상가를 대상으로 짧은 마음챙김을 훈련 후 통증자극을 가할 때 일어나는 뇌의 변화를 비교하였다. 마음챙김 상태에서 통증자극을 예상할 경우 명상가들은 입쪽전대상피질(rostral anterior cingulate cortex, rACC)과 복내측전전두피질(ventromedial prefrontal cortex, vmPFC)의 활성화가 증가되었지만, 비명상가들은 유의한 변화를 보이지 않았다. 마음챙김 상태에서 통증자극이 가해졌을 때 명상가 집단에서만 양쪽 외측전전두피질(lateral prefrontal cortex, lPFC)의 활성화 감소와 함께 후섬엽(PIC)과 이차 체감각피질(SII)에서 증가된 활성화를 보였다. 또한 섬엽의 활성화와 통증불쾌감 감소 간의 상관관계를 보였다. 이는 섬엽의 활성화가 마음챙김의 통증 감소 효과와 관련이 있음을 시사한다.

Zeidan 등(2011)의 연구에서는 휴식 상태에서 통증자극을 가할 때 활성화되던 일차체감각피질(SI)이 마음챙김 상태에서 통증자극을 가할 경우에는 반대로 감소되었다. 일차체감각피질은 통각정보의 감각식별처리와 관련된 뇌 영역으로 이 영역의 활성화가 감소되었다는 것은 통증 관련 구심성 처리가 감소되었다는 것을 의미한다. 통증강도의 감소는 통각에 대한 인지적 조절과 관련된 영역인 전대상피질(ACC)과 전섬엽(AIC)의 활

성화와 관련이 있었다. 통증불쾌감 감소는 안와전 두피질(OFC) 활성화 및 시상의 비활성화와 관련이 있었다. 안와전두피질은 감각에 대한 맥락적 평가를 재구성하는 영역이며, 시상은 구심성 입력과 뇌의 집행명령 간의 상호 작용을 수정하는 변연-게이팅 기제(limbic-gating mechanism)를 반영한다.

이상의 만성통증환자 및 건강한 성인대상 fMRI 관련 결과는 표 3과 표 4에 자세히 정리해 두었다.

표 3. 만성통증환자 대상 마음챙김 훈련 후 신경영상 결과

저자명 (출판년도순)	Seminowicz et al (2020)	Braden et al (2016)	Su et al (2016)	Roland et al (2015)
통증자극 (부위)	열 자극(-)	-	-	-
과제 실시	인지적 과제	슬픔유발	-	-
fMRI 측정 유형	BOLD	BOLD	BOLD	BOLD
신경영상 결과	<ul style="list-style-type: none"> • 인지적 도전 과제에서 MBSR 집단에서만 양측 설상엽(cuneus)과 우측 두정덮개(parietal operculum)간의 활성화가 유의하게 감소 • 좌측 배전섬엽(dorsal anterior insular)과 우측 후두정피질(posterior parietal cortex)과 우측 설상엽(cuneus)에 대한 좌측 배전섬엽(dorsal anterior insular)의 연결이 감소 	<ul style="list-style-type: none"> • MBSR 집단에서만 양측 슬하전두대상피질(sgACC), 왼쪽 복외측전두피질(vIPFC)에서 유의한 활성화를 보임 • 왼쪽 슬하전두대상피질과 슬픔강도간의 유의한 정적 상관 	<ul style="list-style-type: none"> • MBSR훈련 후 높은 통증그룹(high pain group)에서만 전 설엽(AIC)과 배전측중간대상피질(daMCC)간에 유의한 상호작용을 보임 • AIC-daMCC의 상호작용은 통증 점수(SFMPQ)와 유의한 부적상관 	<ul style="list-style-type: none"> • 좌측 하전두회(IFG)와 세 영역(좌측 상측두회, 후방대상피질, 시각피질)과 유의한 연결성 • 우측 하전두회(IFG)와 후방대상피질(PCC) 간에도 유의한 연결성 • 좌측 전방덮개(aO)와 좌측 대상피질 그리고, 우측 전방덮개(aO)와 좌측 측두, 두정피질(temporal, parietal cortex), 우측 전두엽(frontal), 좌측 상측두회 간에도 유의한 연결성
결론	MBSR 훈련은 인지적 도전 동안 두정덮개 및 시각 피질의 활성화를 감소시킴. 인지적 효율성이 증가했음을 의미	MBSR 훈련은 감정상태에 대한 알아차림과 관련된 전두엽에서 유의한 활성화를 일으킴	MBSR 훈련을 통해 AIC-daMCC간의 연결성이 높아지면서 통증이 감소되었음을 의미	MBSR 훈련을 통해 주의 네트워크(attention network)와 관련된 영역 내에서 기능적 연결성의 변화가 일어났음을 의미

주. (-):보고되지 않음, BOLD (Blood Oxygen Level-Dependent, 혈중산소농도 의존신호)

표 4. 건강한 성인 대상 마음챙김 훈련 후 신경영상 결과

지자명 (출판년도순)	Riegner et al (2021)	Zeidan et al (2015)	Gard et al (2012)	Zeidan et al (2011)
통증자극 (부위)	열 자극 (우측 종아리)	열 자극 (-)	전기자극 (좌측 하완)	열 자극 (우측 종아리)
과제 실시	-	-	-	-
fMRI 측정 유형	BOLD	(ASL)MRI	BOLD	(ASL)MRI
신경영상 결과	<ul style="list-style-type: none"> • 휴식상태와 비교했을 때, 마음챙김 훈련은 시상과 복외측 전전두피질(vIPFC), 우측 전섬엽(AIC) 사이의 더 강한 연결성을 보였고, 양측 시상과의 더 큰 분리를 생성함 • 마음챙김 훈련의 통증완화효과는 시상과 후섬엽(PIC) 및 중뇌 수도 관 회백질(PAG)과의 분리 및 복외측 전전두피질과의 연결성과 관련 	<ul style="list-style-type: none"> • 마음챙김과 관련된 통증 완화는 안와전두피질(OFC), 슬하전방대상피질(sgACC), 전섬엽피질(AIC)을 포함한 통증의 인지 조절과 관련된 뇌 영역에서 더 큰 활성화와 관련 • 위약크림으로 인한 통증완화는 전방대상회(ACC)와 등외측 전전두피질(DLPFC)의 활성화 및 감각 처리 영역인 이차 체감각 피질(SII)의 비활성화와 관련 • 가짜 마음챙김과 관련된 통증완화는 중요한 신경 활동과 상관관계가 없었음. 호흡률의 더 큰 감소와 연관 	<ul style="list-style-type: none"> • 마음챙김 상태에서 통증이 예상되는 동안 마음챙김 수련가들의 입쪽전대상피질(rACC)/복내측 전전두피질(vmPFC)의 활성화가 증가 • 마음챙김 상태에서 자극을 받았을 때 양쪽 외측전전두피질(IPFC)에서 활성화가 감소하고 후섬엽(PIC)/이차 체감각피질(SII)에서 활성화가 증가 • 마음챙김 상태에서 증가된 섬엽의 활성화와 통증분쇄감 감소 사이의 상관관계를 보임 	<ul style="list-style-type: none"> • 마음챙김 훈련은 일차체감각피질(SI)의 활성화를 감소시킴 • 통증강도의 감소는 전대상피질(ACC)과 전섬엽(AIC)의 활동 증가와 관련 • 통증분쇄감 감소는 안와전두피질(OFC) 활성화 및 시상의 비활성화와 관련
결론	<p>마음챙김이 중뇌수도 관 회백질에 의해 유발되는 하향 억제를 우회하는 독특한 전전두피질-시상피질 매개 통증 조절 메커니즘과 관련이 있다는 새로운 증거</p>	<p>마음챙김이 위약 크림 및 가짜 마음챙김 훈련과는 전혀 다른 신경 메커니즘을 사용한다는 것을 보여주는 새로운 증거</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 마음챙김은 통증 감각 자체의 감각 처리를 증가시킴 • 통증을 인지적으로 통제하려는 전형적인 시도가 아닌 비인지적, 비판단적으로 감각을 알아차리게 함으로써 통증과 불안을 조절 	<p>마음챙김 훈련이 통증 경험의 구성을 변경하는 여러 뇌 메커니즘과 관련되어 있음</p>

주. (-):보고되지 않음, (ASL)MRI (arterial spin labeled MRI, 동맥스핀표지MRI)

논 의

불교가 근간인 마음챙김이 현대 의학과 심리학 분야에 치료법으로 응용되기 시작한지 40여 년의 시간이 흘렀다. Kabat-Zinn에 의해 만성통증 환

자의 통증감소에 마음챙김의 효과성이 입증된 이후 우울, 불안, 중독 같은 심리적 증상에도 긍정적인 영향을 미친다는 사실이 입증되었고 (Goldberg et al., 2018; Goyal et al., 2014; Khoury et al., 2013), 지금은 교육(고은미 등,

2016), 기업(지성구, 김열권, 여찬구, 2016; Zivnuska, Kacmar, Ferguson, & Carlson, 2016), 양육(김잔디, 2018)에 이르기까지 다양한 영역에서 그 효과가 입증되고 있다.

이러한 긍정적인 성과에도 마음챙김의 효과가 다른 심리적 중재법과 별다른 차이가 없다는 지적도 있다(Hatchard, Lepage, Hutton, Skidmore, & Poulin, 2014). 마음챙김과 인지행동치료 효과를 직접적으로 비교한 Khoo 등(2019)의 네트워크 메타분석 연구에서도 두 중재법의 효과에 유의한 차이가 없었다. 중재 효과의 검증은 대부분 자기보고식 척도를 사용하기 때문에 중재간의 차이를 구분하는 게 쉽지 않다.

이러한 자기보고의 한계점을 극복하기 위해 뇌 영상기법을 활용해 마음챙김 훈련이 뇌 영역에 어떠한 변화를 일으키는지를 검증하는 연구들이 증가하기 시작하였다. 그 결과 마음챙김은 뇌 활성화를 조절함으로써 신체적 통증 감소에 직접적인 영향을 미치고(Gard et al., 2012; Zeidan et al., 2011; Zeidan et al., 2012), 두뇌 피질의 용적량에도 변화를 가져온다는 사실이 밝혀졌다(Creswell et al., 2016; Davidson et al., 2003; Hölzel et al., 2008; Hölzel et al., 2011; Lazar et al., 2005; Wells et al., 2013). 특히 마음챙김이 뇌 활성화의 조절을 통해 통증을 감소시킨다는 결과는 처음 만성통증 환자를 대상으로 마음챙김을 훈련시켜 긍정적인 효과를 증명한 Kabat-Zinn의 연구를 재입증하는 셈이다. 다만 뇌 영상기법을 활용하여 마음챙김의 통증조절 효과를 검증한 연구들 대부분이 건강한 참여자만을 대상으로 의도적인 통증을 유발한 후 통증조절효과를 확인하였다. 따라서 마음챙김의 통증조절 효과를 만성통증으로까지

일반화할 수 없다는 한계가 있었다(Bilevicius et al., 2016; Braden et al., 2016; zeidan et al., 2015; Zeidan, Baumgartner, & Coghill, 2019).

본 연구에서는 실제 만성통증으로 고통을 받고 있는 환자들을 대상으로 일정기간 마음챙김을 훈련시킨 후 그 효과를 뇌 생리학적으로 검증한 연구에 초점을 두었다. 이를 위해 체계적 문헌고찰 지침인 PRISMA 가이드 라인을 바탕으로 문헌검색을 한 결과 총 58개의 연구가 검색되었고, 그 중 본 연구기준에 부합된 논문은 총 4편이었다. 추가적으로 건강한 참여자를 대상으로 한 논문 4편도 함께 비교분석에 포함하였다.

만성통증 환자를 대상으로 한 연구들은 모두 kabat-Zinn이 개발한 MBSR 프로그램으로 마음챙김 훈련을 실시하였다. 1회기 진행시간은 2시간 ~2시간30분이었고, 회기 수는 짧게는 4회기에서 길게는 12회기까지 범위가 다양했다. 반면, 건강한 성인을 대상으로 한 연구들의 경우 구조화된 프로그램 형태가 아닌 짧은 마음챙김 훈련 형태로 통증자극에 대해 비판단적으로 관찰하도록 훈련하였다. 3편의 연구는 연속해서 4일간 20분씩 훈련을 하였고, Gard 등(2012)의 연구는 실험 당일에만 짧게 훈련을 하였다. 서로 상이한 부분이 많았음에도 MBSR이나 짧은 마음챙김 훈련 모두 통제집단에 비해, 그리고 훈련 전에 비해 유의한 통증 감소를 보고하였다.

마음챙김 척도를 사용해서 마음챙김 기술의 변화를 측정된 연구는 총 4편으로 만성통증 환자집단 연구의 경우 KIMS와 CAMS-R로 측정된 반면, 건강한 성인집단의 연구 2편은 모두 FMI로 측정하였다. CAMS-R를 제외한 KIMS와 FMI로 마음챙김을 측정된 연구들에서 통제집단에 비해

마음챙김 훈련집단에서 마음챙김 기술의 유의한 증가를 보였다. 하지만, 마음챙김을 훈련한 집단 모두에서 통증의 감소를 보고한 반면, 마음챙김 기술의 증가에서는 차이를 보였다. 고은미, 김정호, 김미리혜(2021)가 지적했듯이 마음챙김을 측정하는 척도에 따라 그 결과가 달라질 수 있다는 것은, 마음챙김 척도들이 마음챙김의 내용을 제대로 반영하고 있지 못할 가능성이 있음을 의미한다. 따라서 마음챙김 관련 연구를 할 때 연구목적에 가장 적합한 마음챙김 척도를 선택할 필요가 있다.

fMRI 측정은 모두 프로그램 훈련 전과 후의 변화를 측정하였다. 만성통증환자를 대상으로 한 4편의 연구는 혈중산소농도의존신호(BOLD)를 이용해 뇌의 변화를 관찰한 반면, 건강한 성인집단을 대상으로 한 연구들의 경우 2편은 BOLD, 2편은 동맥스핀표지(ASL)MRI를 이용하였다. 만성통증환자를 대상으로 한 연구들의 경우 추가적으로 통증자극을 가하거나 과제를 실시해서 뇌의 변화를 비교한 연구는 2편이었고, 나머지 2편은 과제 없이 프로그램 전과 후의 뇌의 변화를 비교하였다. 건강한 성인집단을 대상으로 한 연구들의 경우 4편 모두 추가적으로 통증자극을 일으킨 후 프로그램 전과 후에 뇌의 변화를 비교하였다. fMRI 결과 만성통증환자를 대상으로 한 연구와 일반 성인을 대상으로 한 연구 모두 통제집단 및 훈련 전과 비교했을 때 마음챙김 훈련을 통해 뇌의 다양한 영역에서 변화가 일어났음을 보고하였다. 다만 만성통증환자를 대상으로 뇌 영상을 비교한 연구들의 경우 주로 질환과 관련된 뇌 영역의 변화에 집중한 반면, 건강한 성인을 대상으로 통증을 유발한 연구들은 통증 자극 시 활성화

된다고 알려진 뇌 영역의 변화에 집중하는 경향을 보였다.

구체적으로 만성통증환자를 대상으로 한 연구들은 정서자각 능력이 통증과 관련된 정서를 관리하는데 도움이 된다고 보고 정서조절과 관련된 영역을 살펴보거나(Braden et al., 2016), 이명이 없거나 귀울림이 없는 이명(Nonbothered tinnitus)과 귀울림이 있는 이명(bothersome tinnitus)간의 주의네트워크 연결성에 차이를 보인다는 기존 연구들을 근거로 마음챙김 훈련 전과 후에 주의네트워크 연결의 변화유무를 확인하거나(Roland et al., 2015), 장기간 지속되는 통증은 환자들의 인지적·정서적 자원을 고갈시킨다고 보고 인지적 도전 과제시 활성화되는 영역의 연결성을 확인하거나(Seminowicz et al., 2020), 통증의 하향식 주의조절과 관련 있다고 알려진 배전측중간대상피질(daMCC)과 전섬엽(AIC) 간의 연결성이 프로그램 전과 후에 어떻게 변하는지를 살펴보았다(Su et al., 2016).

반면, 건강한 성인을 대상으로 한 연구들은 주로 통증을 경험할 때 활성화되는 뇌 영역으로 알려진 6개 영역(ACC, insula, SI, SII, thalamus, PFC)에 중점을 두었다. 통증자극에 대한 반응으로 활성화 된 뇌 영역이 훈련 후에 변화를 보이는지와 함께 뇌 영역의 변화가 통증의 감소와도 상관을 보이면서도 확인하였다. 주로 마음챙김 훈련은 하향통증조절경로(descending pain modulatory pathways)를 통해 뇌에 입력되는 구심성 통증을 감소 시켰다. 구체적으로 하향통증조절경로는 전방대상회에서 기시하여 전전두엽, 특히 안와전두엽으로, 그리고 다시 중뇌수도관주위 회백질로 이어지는 경로(cingulo-fronto-PAG)와

섬엽에서 기시하여 편도체를 거쳐 중뇌수도관주위회백질에 이르는 경로(IC-amygdala-PAG)가 있다.

정리하면, 서로 관심의 방향이 달랐음에도 만성 통증 환자를 대상으로 한 MBSR훈련, 그리고 건강한 성인을 대상으로 실시한 짧은 마음챙김 훈련 모두 고차 뇌의 작용인 하향통증조절경로를 활성화시켰고, 이는 통증 경감으로 이어졌다고 볼 수 있다.

하지만, 예외적으로 Gard 등(2012)의 연구는 이와는 상반되는 결과를 보고하였다. 오히려 마음챙김 훈련을 통해 전전두엽(PFC)의 활성화는 감소한 반면, 이차체감각피질(SII)과 섬엽(IC)의 활성화가 증가하였다. 즉, 통증을 인지적으로 조절하려는 시도대신 오히려 통증감각에 주의를 기울임으로써 통증의 감소를 가져온 것이다. 이는 통증의 하향처리(top-down processing)가 아닌 상향처리(bottom-up processing)로 볼 수 있다. Gard 등(2012)의 연구가 7개의 연구와 다른 점이 있다면, 처치집단의 참여자들이 10년 이상 수련한 명상가라는 사실이다. 초보명상가일 경우 평소 습관과는 전혀 다른 방식의 훈련을 해야 하므로, 전전두피질의 활성화가 더 크게 증가했을 것이다(Tang, Hölzel, & Posner, 2015). 반면 숙련된 명상가일 경우에는 경험을 있는 그대로 받아들이는 수용의 자세가 자동화되어 있기 때문에 하향식 조절대신 상향식 조절이 가능하다(Chiesa, Serretti, & Jakobsen, 2013). 이러한 결과는 선 명상가를 대상으로 통증자극을 유발했던 Grant, Courtemanche와 Rainville(2011)의 연구결과와도 일치한다. Grant 등(2011)의 연구에서는 숙련된 선 수행자가 대조군에 비해 후방섬엽(PIC)을 포함한 감각영역

의 활성화가 더 크게 증가하였고, 통증 자극 시에는 외측전전두피질(IPFC)의 활성화는 감소하였다.

마음챙김 훈련 초기 단계에서는 오히려 주의력 조절과 정신적 노력이 필요하기에 전전두엽이 훈련 전 보다 강하게 활성화되지만, 숙달될수록 전전두엽(PFC)의 활성화는 감소하고, 전방대상피질(ACC) 및 섬엽(IC)은 활성화된다(Tang et al., 2015). 즉, 초보자의 경우 통증자극에 대한 조절을 위해 인지적 통제력은 증가하고 감각 처리는 감소되는 반면, 숙달될수록 인지적 통제력은 감소하고 감각 처리 능력은 증가하는 것이다(Gard et al., 2012). 이러한 결과는 마음챙김을 일련의 과정으로 보는 관점을 지지한다(고은미 등, 2021; Tang et al., 2015).

통증조절에 있어 마음챙김의 뇌 생리학적 효과를 단순고찰 또는 체계적 고찰한 기존의 연구들은 대부분 건강한 성인을 대상으로 의도적인 통증을 유발한 후의 뇌의 변화를 관찰한 연구들을 분석한 결과였다. 따라서 통증조절에 대한 마음챙김 효과를 일반화하는데 한계가 있었다. 본 연구는 이러한 한계를 극복하고자 만성통증환자를 대상으로 마음챙김의 뇌 생리학적 변화를 검증한 연구들로 제한하였고, 추가적으로 건강한 성인을 대상으로 한 연구들도 함께 비교하였다. 본 연구 결과, 단기 마음챙김 훈련(4일~4개월)은 만성 및 급성통증을 조절하는 데 있어 하향통증조절경로를 활성화한다고 해석할 수 있다. 다만, 급성통증 실험에서 실시했던 4일간 매 20분의 마음챙김 훈련만으로도 만성통증의 하향통증조절경로를 활성화를 시킬 수 있을지는 현재로서는 알 수 없다. 만성통증의 경우 지금까지의 연구결과로는 최소 4회기 이상, 그리고 회기별 2시간 이상 실시했을

때 하향통증조절경로가 활성화된다고 볼 수 있다. 마음챙김의 통증조절 기제는 통증 감각에 대한 회피 대신 직면이며, 인지적 조절 대신 통증감각을 있는 그대로 경험하는 수용이다. 따라서 Gard 등(2012), 그리고 Grant 등(2011)의 연구에서처럼 하향통증조절기제 넘어 상향통증조절기제로 전환이 이루어질 때 비로소 통증조절에 대한 마음챙김 훈련만의 차별성 및 고유성이 드러날 것이다. 통증조절에 있어 마음챙김의 뇌 기제를 검증하는 연구는 아직 초기단계로 정확한 정보를 위해서는 더 많은 데이터가 축적되어야 한다. 그럼에도 만성통증과 급성통증 관리에 대한 마음챙김의 뇌 생리학적 효과를 처음으로 직접비교한 논문이라는 점, 그리고 통증관리에 있어 일반화 가능성을 보여준 점에서 의의가 있다.

향후 연구를 위해서는 다음과 같은 점을 고려해야 할 필요가 있다. 첫째, MBSR 훈련은 다양한 기법들이 포함되어 있는 종합적인 프로그램이다. 각 기법 별로 어떤 요인이 뇌의 변화 및 통증감소와 관련되는지를 측정할 수 있다면 구체적으로 마음챙김의 효과를 구분할 수 있을 것이다. 둘째, 2편을 제외한 6편의 연구가 뇌 생리학적 변화를 측정하기 위해 혈중산소농도의존신호(BOLD) 기술을 사용하였다. 하지만 지속적인 통증이 있는 만성통증 상태를 연구하기 위해서는 BOLD보다 더 큰 민감도를 보이는 동맥스핀표지(ASL)MRI 방법이 더 적합하다고 보는 의견이 있다 (Schweinhardt & Bushnell, 2010; Zeidan et al., 2011). 향후 만성통증에 대한 뇌 생리학적 변화를 연구하기 위해서는 BOLD가 아닌 ASL 방법도 고려할 필요가 있다. 셋째, 자기보고식 마음챙김척도를 사용해서 마음챙김을 측정한 연구가 본 연구

에서 4편 밖에 되지 않았다. 마음챙김이 통증의 조절에 효과가 있다면, 마음챙김 기술의 향상이 증명되어야 한다. 향후 연구에서는 마음챙김의 주관적 척도를 사용해서 마음챙김 점수의 변화와 뇌 활성화의 변화와의 관련성도 함께 비교할 수 있다면 마음챙김 처치 효과의 입증과 함께 마음챙김 척도별 민감도도 확인할 수 있는 기회가 될 수 있을 것이다. 마지막으로, 본 연구에서 선택된 만성통증의 종류는 4편 모두 달랐다. 질환별 뇌 반응의 변화가 다를 수 있기 때문에 동일한 질환별로 비교할 필요가 있다. 만성통증 환자를 대상으로 한 뇌 영상연구가 더 많아져서 향후 질환별 뇌 기제를 특성화할 수 있기를 바란다.

참 고 문 헌

- 고은미, 김정호, 김미리혜 (2021). 마음챙김 척도 비교고찰. *한국심리학회지: 일반*, 40(1), 33-74.
- 고은미, 김정호, 김미리혜, 조채운, 강민정, 박은빈, 이경란, 안소현, 황보인, 김현영, 도현정, 박유진, 신소영, 이선호, 정보람 (2016). 마음챙김명상 프로그램이 청소년들의 웰빙 및 스트레스에 미치는 효과. *한국심리학회 학술대회 자료집*, 321-321.
- 김잔디 (2018). 마음챙김양육 프로그램의 개발과 효과. 덕성여자대학교 대학원 박사학위청구논문.
- 지성구, 김열권, 여찬구 (2016). 마음챙김 명상이 조직유효성에 미치는 영향에 관한 예비적 연구. *경영교육연구*, 31(3), 93-116.
- Apkarian, A. V., Hashmi, J. A., & Baliki, M. N. (2011). Pain and the brain: specificity and plasticity of the brain in clinical chronic pain. *Pain*, 152(3), 1-35.
- Berkovich-Ohana, A., Harel, M., Hahamy, A., Arieli, A., & Malach, R. (2016). Alterations in

- task-induced activity and resting-state fluctuations in visual and DMN areas revealed in long-term meditators. *NeuroImage*, *135*, 125-134.
- Bilevicius, E., Kolesar, T. A., & Komelsen, J. (2016). Altered neural activity associated with mindfulness during nociception: a systematic review of functional MRI. *Brain Sciences*, *6*(2), 1-12.
- Braden, B. B., Pipe, T. B., Smith, R., Glaspy, T. K., Deatherage, B. R., & Baxter, L. C. (2016). Brain and behavior changes associated with an abbreviated 4 week mindfulness based stress reduction course in back pain patients. *Brain and behavior*, *6*(3), 1-13.
- Chiesa, A., Calati, R., Serretti, A. (2011). Does mindfulness training improve cognitive abilities? a systematic review of neuropsychological findings. *Clin. Psychol. Rev.* *31*, 449 - 464.
- Chiesa, A., Serretti, A., & Jakobsen, J. C. (2013). Mindfulness: Top-down or bottom-up emotion regulation strategy?. *Clinical psychology review*, *33*(1), 82-96.
- Creswell, J. D., Taren, A. A., Lindsay, E. K., Greco, C. M., Gianaros, P. J., Fairgrieve, A., Marsland, A. L., Brown, K. W., Way, B. M., Rosen, R. K., Ferris, J. L. (2016). Alterations in resting-state functional connectivity link mindfulness meditation with reduced interleukin-6: A randomized controlled trial. *Biological Psychiatry*, *80*(1), 53-61.
- Davidson, R. J., Kabat-Zinn, J., Schumacher, J., Rosenkranz, M., Muller, D., Santorelli, S. F., Urbanowski, F., Harrington, A., Bonus, K., & Sheridan, J. F. (2003). Alterations in brain and immune function produced by mindfulness meditation. *Psychosomatic Medicine*, *65*(4), 564-570.
- Falcone, G., Jerram, M. (2018). Brain activity in mindfulness depends on experience: a meta-analysis of fmri studies. *Mindfulness* *9*(5), 1319 - 1329.
- Fox, K.C.R., Nijeboer, S., Dixon, M.L., Floman, J.L., Ellamil, M., Rumak, S.P., Sedlmeier, P., Christoff, K. (2014). Is meditation associated with altered brain structure? A systematic review and meta-analysis of morphometric neuroimaging in meditation practitioners. *Neurosci. Biobehav. Rev.* *43*, 48 - 73.
- Gard, T., Holzel, B. K., Sack, A. T., Hempel, H., Lazar, S. W., Vaitl, D., & Ott, U. (2012). Pain attenuation through mindfulness is associated with decreased cognitive control and increased sensory processing in the brain. *Cerebral cortex*, *22*(11), 2692-2702.
- Gatchel, R. J., Peng, Y. B., Peters, M. L., Fuchs, P. N., & Turk, D. C. (2007). The biopsychosocial approach to chronic pain: scientific advances and future directions. *Psychological bulletin*, *133*(4), 581-624.
- Goldberg, S. B., Tucker, R. P., Greene, P. A., Davidson, R. J., Wampold, B. E., Kearney, D. J., & Simpson, T. L. (2018). Mindfulness-based interventions for psychiatric disorders: A systematic review and meta-analysis. *Clinical Psychology Review*, *50*, 52-60.
- Goyal, M., Singh, S., Sibinga, E. M. S., Gould, N. F., Rowland-Seymour, A., Sharma, R., Berger, Z., Sleicher, D., Maron, D. D., Shihab, H. M., Ranasinghe, P. D., Linn, S., Saha, S., Bass, E. B., & Haythornthwaite, J. A. (2014). Meditation programs for psychological stress and well-being: A systematic review and meta-analysis. *JAMA Internal Medicine*, *174*(3), 357-368.
- Gotink, R. A., Meijboom, R., Vernooij, M. W., Smits, M., & Hunink, M. M. (2016). 8-week mindfulness based stress reduction induces brain changes

- similar to traditional long-term meditation practice - a systematic review. *Brain and cognition*, 108, 32-41.
- Grant, J. A., Courtemanche, J., & Rainville, P. (2011). A non-elaborative mental stance and decoupling of executive and pain-related cortices predicts low pain sensitivity in Zen meditators. *Pain@*, 152(1), 150-156.
- Gwilym, S. E., Filippini, N., Douaud, G., Carr, A. J., & Tracey, I. (2010). Thalamic atrophy associated with painful osteoarthritis of the hip is reversible after arthroplasty: a longitudinal voxel based morphometric study. *Arthritis & Rheumatism*, 62(10), 2930-2940.
- Harrison, R., Zeidan, F., Kitsaras, G., Ozcelik, D., & Salomons, T. V. (2019). Trait mindfulness is associated with lower pain reactivity and connectivity of the default mode network. *The Journal of Pain*, 20(6), 645-654.
- Hatchard, T., Lepage, C., Hutton, B., Skidmore, B., & Poulin, P. A. (2014). Comparative evaluation of group-based mindfulness-based stress reduction and cognitive behavioral therapy for the treatment and management of chronic pain disorders: Protocol for a systematic review and meta-analysis with indirect comparisons. *Systematic Reviews*, 3(1), 134-139.
- Hölzel, B. K., Carmody, J., Vangel, M., Congleton, C., Yerramsetti, S. M., Gard, T., & Lazar, S. W. (2011). Mindfulness practice leads to increases in regional brain gray matter density. *Psychiatry Research: Neuroimaging*, 191(1), 36-43.
- Hölzel, B. K., Ott, U., Gard, T., Hempel, H., Weygandt, M., Morgen, K., & Vaitl, D. (2008). Investigation of mindfulness meditation practitioners with voxel-based morphometry. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 3(1), 55-61.
- Kaiser, R. S., Mooreville, M., & Kannan, K. (2015). Psychological interventions for the management of chronic pain: a review of current evidence. *Current pain and headache reports*, 19(9), 1-8.
- Khoo, E. L., Small, R., Cheng, W., Hatchard, T., Glynn, B., Rice, D. B., ... & Poulin, P. A. (2019). Comparative evaluation of group-based mindfulness-based stress reduction and cognitive behavioural therapy for the treatment and management of chronic pain: A systematic review and network meta-analysis. *Evidence-Based Mental Health*, 22(1), 26-35.
- Khoury, B., Lecomte, T., Fortin, G., Masse, M., Therien, P., Bouchard, V., Chapleau, M.A., Paquin, K., & Hofmann, S. G. (2013). Mindfulness-based therapy: A comprehensive meta-analysis. *Clinical Psychology Review*, 33(6), 763-771.
- Kilpatrick, L. A., Suyenobu, B. Y., Smith, S. R., Bueller, J. A., Goodman, T., Creswell, J. D., ... & Naliboff, B. D. (2011). Impact of mindfulness-based stress reduction training on intrinsic brain connectivity. *NeuroImage*, 55(1), 290-298.
- Lazar, S. W., Kerr, C. E., Wasserman, R. H., Gray, J. R., Greve, D. N., Treadway, M. T., McGarvey, M., Quinn, B. T., Dusek, J. A., Benson, H., Rauch, S. L., Moore, C. I., & Fischl, B. (2005). Meditation experience is associated with increased cortical thickness. *Neuroreport*, 16(17), 1893-1897.
- May, A. (2008). Chronic pain may change the structure of the brain. *PAIN@*, 137(1), 7-15.
- Melis, M., Schroyen, G., Pollefeyt, J., Raes, F., Smeets, A., Sunaert, S., ... & Van der Gucht, K. (2022). The impact of mindfulness-based interventions on brain functional connectivity: a systematic review. *Mindfulness*, 13(8), 1857-1875.
- Nascimento, S. S., Oliveira, L. R., & DeSantana, J.

- M. (2018). Correlations between brain changes and pain management after cognitive and meditative therapies: a systematic review of neuroimaging studies. *Complementary Therapies in Medicine, 39*, 137-145.
- Obermann, M., Nebel, K., Schumann, C., Holle, D., Gizewski, E. R., Maschke, M., ... & Katsarava, Z. (2009). Gray matter changes related to chronic posttraumatic headache. *Neurology, 73*(12), 978-983.
- Riegner, G., Baumgartner, J., Posey, G., Jinich, A., Jung, Y., Zeidan, F., ... & Birenbaum, J. (2021). Prefrontal cortico-thalamic regulation of pain by mindfulness meditation. *The Journal of Pain, 22*(5), 605-605.
- Roland, L. T., Lenze, E. J., Hardin, F. M., Kallogjeri, D., Nicklaus, J., Wineland, A. M., ... & Piccirillo, J. F. (2015). Effects of mindfulness based stress reduction therapy on subjective bother and neural connectivity in chronic tinnitus. *Otolaryngology Head and Neck Surgery, 153*(5), 919-926.
- Schweinhart, P., & Bushnell, M. C. (2010). Pain imaging in health and disease—how far have we come?. *The Journal of clinical investigation, 120*(11), 3788-3797.
- Seminowicz, D. A., Burrowes, S. A., Kearson, A., Zhang, J., Krimmel, S. R., Samawi, L., ... & Haythornthwaite, J. A. (2020). Enhanced mindfulness based stress reduction (MBSR+) in episodic migraine: a randomized clinical trial with MRI outcomes. *Pain, 161*(8), 1837-1846.
- Seminowicz, D. A., & Davis, K. D. (2007). Interactions of pain intensity and cognitive load: the brain stays on task. *Cerebral cortex, 17*(6), 1412-1422.
- Shen, Y.-Q., Zhou, H.-X., Chen, X., Castellanos, F.X., Yan, C.-G. (2020). Meditation effect in changing functional integrations across large-scale brain networks: Preliminary evidence from a meta-analysis of seed-based functional connectivity. *J. Pac. Rim Psychol. 14*, 1-14.
- Simons, L. E., Elman, I., & Borsook, D. (2014). Psychological processing in chronic pain: a neural systems approach. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 39*, 61-78.
- Su, I. W., Wu, F. W., Liang, K. C., Cheng, K. Y., Hsieh, S. T., Sun, W. Z., & Chou, T. L. (2016). Pain perception can be modulated by mindfulness training: a resting-state fMRI study. *Frontiers in human neuroscience, 10*, 570-577.
- Tang, Y. Y., Hölzel, B. K., & Posner, M. I. (2015). The neuroscience of mindfulness meditation. *Nature reviews neuroscience, 16*(4), 213-225.
- Wang, M. Y., Bailey, N. W., Payne, J. E., Fitzgerald, P. B., & Fitzgibbon, B. M. (2021). A systematic review of pain-related neural processes in expert and novice meditator. *Mindfulness, 12*, 799-814.
- Wells, R. E., Yeh, G. Y., Kerr, C. E., Wolkin, J., Davis, R. B., Tan, Y., Spaeth, R., Wall, R., Walsh, J., Kaptchuk, T., Press, D., Phillips, R. S., & Kong, J. (2013). Meditation's impact on default mode network and hippocampus in mild cognitive impairment: A pilot study. *Neuroscience Letters, 556*, 15-19.
- Young, K. S., van der Velden, A. M., Craske, M. G., Pallesen, K. J., Fjorback, L., Roepstorff, A., & Parsons, C. E. (2018). The impact of mindfulness-based interventions on brain activity: A systematic review of functional magnetic resonance imaging studies. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 84*, 424-433.
- Zeidan, F., Baumgartner, J. N., & Coghill, R. C. (2019). The neural mechanisms of mindfulness-based pain relief: a functional magnetic resonance imaging-based review and primer. *Pain reports, 4*(4), 1-11.

- Zeidan, F., Emerson, N. M., Farris, S. R., Ray, J. N., Jung, Y., McHaffie, J. G., & Coghill, R. C. (2015). Mindfulness meditation-based pain relief employs different neural mechanisms than placebo and sham mindfulness meditation-induced analgesia. *Journal of Neuroscience*, *35*(46), 15307-15325.
- Zeidan, F., Grant, J., Brown, C., McHaffie, J., & Coghill, R. (2012). Mindfulness meditation-related pain relief: Evidence for unique brain mechanisms in the regulation of pain. *Neuroscience Letters*, *520*(2), 165-173.
- Zeidan, F., Martucci, K. T., Kraft, R. A., Gordon, N. S., McHaffie, J. G., & Coghill, R. C. (2011). Brain mechanisms supporting the modulation of pain by mindfulness meditation. *Journal of Neuroscience*, *31*(14), 5540-5548.
- Zivnuska, S., Kacmar, K. M., Ferguson, M., & Carlson, D. S. (2016). Mindfulness at work: Resource accumulation, well-being, and attitudes. *Career Development International*, *21*(2), 106-124.

원고접수일: 2023년 1월 16일

논문심사일: 2023년 4월 3일

게재결정일: 2023년 10월 16일

Brain physiological effects of mindfulness for chronic pain: A systematic review

Eun-Mi Koh

Wellbeing Health Psychology Center, Duksung Women's University

There is a continuous increase in the number of studies showing that mindfulness training has a direct effect on reducing physical pain by regulating brain activation. However, most of the studies have confirmed the effect of pain control after intentionally inducing pain in healthy adults. Therefore, the limitation is that the results cannot be generalized to chronic pain. In order to address this limitation, this study focused on works that verified the physiological effect of the brain after mindfulness training targeting patients with chronic pain. To this end, a systematic literature review was conducted using PubMed and the Cochrane CENTRAL database. A total of four studies met the inclusion criteria, and they were additionally compared with four studies in healthy adults. The degree of pain measured using a subjective scale showed a significant reduction in pain after mindfulness training compared to that in the control group and before training for both chronic pain and acute pain. Changes in mindfulness skills by using subjective scales showed differences according to the mindfulness scales. In the chronic pain study, two studies measured the degree of mindfulness change with the Cognitive and Affective Mindfulness Scale-Revised (CAMS-R) and Kentucky Inventory of Mindfulness Skills (KIMS), and in the acute pain study, two studies were assessed using the Freiburg Mindfulness Inventory (FMI). Results showed that only the study assessed by CAMS-R showed no significant change after mindfulness training. Functional magnetic resonance imaging (fMRI) showed that mindfulness training in both chronic pain and acute pain reduced the pain by activating the descending pain modulatory pathways, which is a higher-order brain function. However, brain activation related to bottom-up regulation instead of top-down regulation was found in cases with a training experience of an average of 10 years or more. This suggests that the mechanism of the brain for controlling pain may also vary depending on the level of mindfulness. Studies verifying the brain mechanism of mindfulness in pain control is still in its infancy, and more research should be conducted in the future. This study is significant as it is the first attempt to compare the brain physiological effects of mindfulness in pain management by dividing them into chronic pain and acute pain. The results of this study reaffirmed that mindfulness training in pain management can cause significant pain reduction in chronic pain and acute pain. Moreover, suggestions for future research were discussed.

Keywords: Chronic pain, Systematic review, Mindfulness, fMRI, Neuroimaging