

# 의식적 호흡이 자율신경과 뇌파에 영향을 미치는 기전에 관하여

강 승 완

서울대학교 간호대학 · 간호과학연구소 조교수

## The Relationship and Mechanism Underlying the Effect of Conscious Breathing on the Autonomic Nervous System and Brain Waves

Kang, Seung Wan

Assistant Professor, College of Nursing · Research Institute of Nursing Science, Seoul National University, Seoul, Korea

**Purpose:** Breathing can be controlled either unconsciously or consciously. In Asian countries, various conscious breathing-control techniques have been practiced for many years to promote health and wellbeing. However, the exact mechanism underlying these techniques has not yet been established. The purpose of this study is to explore the physiological mechanism explaining how conscious breathing control could affect the autonomic nervous system, brain activity, and mental changes. **Methods:** The coupling phenomenon among breathing rhythm, heart rate variability, and brain waves was explored theoretically based on the research hypothesis and a review of the literature. **Results:** Respiratory sinus arrhythmia is a well-known phenomenon in which heart rate changes to become synchronized with breathing: inhalation increases heart rate and exhalation decreases it. HRV BFB training depends on conscious breathing control. During coherent sinusoidal heart rate changes, brain  $\alpha$  waves could be enhanced. An increase in  $\alpha$  waves was also found and the synchronicity between heart beat rhythm and brain wave became strengthened during meditation. **Conclusion:** In addition to the effect of emotion on breathing patterns, conscious breathing could change heart beat rhythms and brainwaves, and subsequently affect emotional status.

**Key Words:** Respiration, Autonomic nervous system, Brain waves, Electroencephalography, Synchronicity

### 서 론

#### 1. 연구의 필요성

명상(meditation)은 동양에서 오랫동안 심신의 안정을 도모하기 위한 자가훈련법으로 활용되어 왔으며 80년대 이후에는 서양에서도 명상의 효용성에 대해 알려지기 시작하면서 이를 수행하는 인구가 꾸준히 증가되어 왔다.<sup>1-4)</sup> 명상은 일반인

들의 관심 뿐만 아니라 과학계의 학술적 관심도 많이 받기 시작하면서 그것의 건강에 미치는 영향에 대한 연구도 많이 시행되어왔다.<sup>1,2,5,6)</sup> 명상과 관련된 과학적 연구는 명상의 종류, 연구참여자의 인구학적 특성이나 건강상태, 효과에 대한 측정도구, 연구의 디자인 등에 따라 매우 다양하다.

명상은 여러가지로 분류될 수 있으나 일반적으로 그 형태에 따라 집중명상과 비 집중명상으로 나눈다.<sup>7)</sup> 집중명상(attention meditation)은 명상을 하는 과정에서 의식의 집중을 위

**주요어:** 호흡, 자율신경, 뇌파, 뇌전도, 동기화

**Corresponding author:** Kang, Seung Wan

College of Nursing, Seoul National University, 103 Daehak-ro, Jongno-gu, Seoul 03080, Korea.  
Tel: +82-2-747-7422, Fax: +82-2-745-7422, E-mail: drdemian@snu.ac.kr

- 이 연구는 서울대학교 신입교수 연구정착금으로 지원되는 연구비에 의하여 수행되었음.

- This work was supported by Research Resettlement Fund for the new faculty of Seoul National University.

투고일 2017년 9월 27일 / 심사완료일 2017년 10월 17일 / 게재확정일 2017년 10월 20일

## 본 론

해 만트라나 숫자세기, 호흡조절 등을 활용하는 형태의 명상을 의미하며, 비 집중명상(non-attention meditation)은 의식을 집중하고자 하는 의도 자체를 내려놓고 자신의 마음에서 일어나는 감정의 움직임을 제 삼자적 입장에서 관찰하며 마음의 고요함을 추구하는 형태의 명상을 일컫는다. 의도적 호흡 조절(conscious breathing control)은 여러 형태가 존재할 수 있으며 그 자체로서 오랜 역사동안 심신수련 및 이완을 목적으로 활용되어 왔을 뿐만 아니라 집중명상으로 분류될 수 있는 여러 명상수련법에서 명상의 효과적인 유도과 유지를 위해 많이 활용되어 왔다.<sup>8)</sup> 현대의학에서는 호흡리듬을 컴퓨터로 실시간 모니터링하는 과정을 통해 본인이 스스로 의도된 조절을 하게 하는 바이오피드백으로 발전시켜 활용하기도 한다.<sup>9,10)</sup> 반면 비 집중명상에서도 호흡을 중요한 기재로 다루기도 하는데, 이 경우에는 의도적인 조절보다는 자신의 호흡 흐름을 그저 관찰하며 지각하는데 주안점을 둔다.<sup>7)</sup>

명상이나 호흡, 혹은 이 둘의 결합이 인체에 미치는 영향을 측정하기 위하여 주관적 느낌의 변화만이 아니라 객관적인 생물학적, 생리적 지표의 측정이 많이 시도되어 왔다. 또한 최근 들어서는 명상이나 호흡이 뇌의 구조적, 기능적 변화에 미치는 영향에 대한 뇌과학적 연구도 많이 시도되고 있는데 측정 방법을 보면 기능적 자기공명영상(functional Magnetic Resonance Image fMRI), 뇌자도(Magnetoencephalography, MEG), 뇌전도(Electroencephalography, EEG), 근적외선 분광기(Near infrared spectrometer, NIRS) 등 다양한 뇌영상기법이 활용되고 있다.<sup>11-15)</sup> 이 중에서도 EEG는 뇌의 생리적 변화를 측정하는 가장 전통적인 도구로서 장비의 가격이 비교적 저렴하고 다양한 환경조건에서 측정할 수 있는 장점이 있어 여러 뇌기능 측정 연구에 많이 활용되고 있고 명상이나 호흡의 효능을 뇌기능적 차원에서 연구하려는 연구자들에게 좋은 연구도구가 될 수 있다.<sup>14)</sup>

## 2. 연구목적

본 종설에서는 간호계에서도 많은 관심을 받고 있는 호흡다스림의 생리적 작용기전을 정리함으로써 향후 많은 간호연구자들의 연구설계와 임상적 활용에 기여하고자 한다.

- 호흡조절의 듀얼 메커니즘에 대해 고찰한다.
- 호흡 리듬과 자율신경, 심장박동과의 상호 연결성에 대해 고찰한다.
- 심장박동과 뇌파와의 상호 연결성에 대해 고찰한다.

호흡은 의식하지 않은 상태에서 생리적 요구 혹은 감정 상태에 맞춰 자동적으로 이뤄지거나 필요에 따라서는 의식적으로도 조절이 가능하다. 본문에서는 호흡이 조절되는 중추신경계 듀얼 메커니즘에 대해 간단히 고찰한 후 의식적인 호흡 조절이 자율신경계의 조절 및 심장박동의 리듬패턴에 어떤 영향을 미치는 지에 대한 고찰을 할 것이다. 그 후 변화된 심장박동의 리듬패턴이 뇌파와 어떤 상호 연결패턴을 보이는지를 고찰함으로써 “의도된 호흡·심장박동리듬·뇌파변화·의식변화”로 이어지는 관련성에 대해 기술할 것이다.

## 1. 중추신경계의 호흡조절 기전

호흡은 우리가 의도적으로 조절할 수도 있지만 의식하지 않은 상황에서도 자동적으로 조절되고 있다. 호흡기계는 심장과는 다르게 내재적인 페이스메이커 시스템이 존재하지 않기 때문에 뇌줄기에 위치한 호흡조절중추로부터 신경계를 통한 명령을 받아야만 호흡 근육에 의한 호흡이 이뤄질 수 있다. 호흡 중추는 다리뇌(pons)와 숨뇌(medulla)에 위치한 뉴런의 집단들인 신경절들로 구성되어 있다. 숨뇌에 위치한 호흡중추(medullary Respiratory Center, MRC)는 일차 호흡 조절 센터로 불리며 배쪽 호흡군(Ventral Respiratory Group, VRG)과 등쪽 호흡군(Dorsal Respiratory Group, DRG)으로 나뉘며 몸의 생리적 리듬에 맞는 자율적인 호흡조절을 담당하고 있다. 등쪽 호흡군(DRG)는 숨뇌의 등쪽에 위치하며 거의 대부분 들숨을 관장하는 뉴론들로 구성되어 있다. 숨뇌의 MRC바로 위에는 전 보쯔inger 절(pre-Botzinger complex)라고 불리는 뉴런군이 존재하는데 등쪽 호흡군(DRG)의 들숨 뉴론과 연결된 이곳의 뉴런들이 심장의 동방결절과 같이 자발적인 리드미컬한 활성화-불활성화의 호흡사이클을 반복하여 들숨-날숨을 유지한다는 것이 알려졌다.<sup>16)</sup> 숨뇌의 배쪽 호흡군(VRG)는 평상시 안정 상태의 무의식적 호흡에서는 꺼져 있거나 운동할 때와 같이 많은 호흡량을 필요로 하는 상태에서 복근과 외측 늑갈사이근육을 수축시켜 강력한 날숨을 만들어 내는데 중요한 역할을 한다. 숨뇌의 호흡중추는 다리뇌의 호흡중추의 영향을 받는데, 이 곳에는 호흡의 빈도와 깊이를 조절하는 호흡조절중추(pneumotaxic center)와 지속흡입중추(apneustic center)가 존재한다. 다리뇌의 호흡중추는 정상 상태의 변화나 수의적 조절 등에 대한 정보를 수용하여 숨뇌의 호흡조절중추에 전달하여 호흡의 미세한 조절에 개입한다.

의식적 호흡조절을 할 때는 이곳 다리뇌의 호흡조절중추를 통해 호흡리듬을 조절하는 것으로 예측된다.<sup>17)</sup>

정서상태는 호흡리듬의 변화를 동반하는데, 흥분을 하거나 불안감이 증가하면 호흡이 얇고 가빠지며 이런 상태가 지속되는 “과호흡증후군” 상태에서는 체내 이산화탄소농도가 감소되어 호흡성 알칼리증 상황이 유발될 수 있다. 반면에 복식호흡과 같이 의도적으로 호흡을 깊고 안정적으로 조절하였을 때 정서적인 안정감과 긴장의 이완을 경험하기도 한다. 이와 같이 정서와 호흡패턴은 서로에게 상호 영향을 주지만, 호흡 조절이 어떻게 정서적인 변화를 유도하는 지에 대한 정확한 기전은 잘 알려져 있지 않다. 이에 대한 작용기전을 탐색하기 위해 호흡과 심장박동의 리듬과의 관련성, 그리고 심장박동 리듬과 뇌파와의 관련성에 대해 논의할 것이다.

## 2. 호흡 리듬과 자율신경, 심장박동과의 상호 연결성

호흡의 리듬은 심장박동의 리듬과 밀접하게 연관되어 있다. 들숨을 쉬는 동안에 심장박동은 빨라지며 날숨을 쉬는 동안 심장박동은 느려진다. 호흡과 심박의 이와 같은 연결성은 호흡성 동부정맥(Respiratory Sinus Arrhythmia, RSA)이라고 불리는데, 오래 전부터 관찰되어 왔지만 아직까지 그 정확한 이유와 기전은 명확하지 않다.<sup>18)</sup> 날숨을 쉬는 동안 흉곽의 압력은 높아지고 혈액의 산소 농도는 낮아지므로 에너지 효율성 측면에서 심장의 수축이 감소한다는 설명이 존재한다. 심장박동은 스스로 조절되는 자율신경계에 의해 조절되는데, 동방결절(SA node)의 페이스메이킹에 의해 추동 되는 심장박동이 날숨 때 감소한다는 것은 날숨으로 인해 동방 결절에 연결된 부교감신경인 미주신경이 활성화된다는 것을 의미하는 것이다. 이는 의식적 호흡에서도 공통적으로 나타나는 현상이며 심장박동과 같은 자율신경계가 의식적 호흡 변화를 통해 조절이 가능하다는 것을 암시한다. 실제로 호흡수련이나 호흡 조절을 활용한 명상에서 심박동수가 감소하는 자율신경의 변화는 여러 연구를 통해 확인되어 왔다.<sup>19,20)</sup> 간호학계에서도 많이 활용하고 있는 심박동수변이도 바이오피드백(Heart Rate Variability Biofeedback, HRV BFB) 역시 RSA의 원리를 이용한다. HRV BFB은 광학적 원리를 이용해 손가락이나 귓볼에서 맥파(heart beat wave)를 측정하는 광혈류측정기(Photoplethysmography, PPG)센서를 몸에 부착하여 실시간으로 자신의 분당 평균 심박수의 변화를 스스로 모니터링 하면서 의도된 형태의 심박의 증감 리듬 패턴이 나타나도록 훈련하는 것이다. 이 훈련과정에서 자신의 심박을 조절하는 중요한 기제가 호흡이다. 호흡은 보통 들숨 5

초, 날숨 5초로 10초동안 한 호흡사이클이 반복되도록 가이드 되는데, 이렇게 일정한 리듬과 깊이로 들숨과 날숨을 반복하면 분당 평균 심박수도 일정한 리듬으로 빨라졌다 느려졌다를 반복하여 호흡의 들숨 날숨 리듬과 심박 증감의 리듬이 일치하는 커플링(coupling)상태에 이르게 된다. 이때 참가자는 심신의 이완, 맥박과 혈압의 감소 및 다양한 임상 증상의 호전을 경험할 수 있다.

## 3. 심장박동과 뇌파와의 상호 연결성

비록 소규모이긴 하나 최근 들어 뇌과학계에서 보여지는 연구 흐름 중 하나가 몸과 뇌의 상호작용에 관한 연구가 출현하는 것이다. 그 중에서 아직 그기전이 명확히 밝혀지지는 않았지만 심장파와 뇌의 관련성에 대한 연구가 상대적으로 활발해 지고 있다. 이와 관련된 초기 연구로서, Takahashi 등<sup>21)</sup>의 명상연구에 의하면 명상을 하는 동안 전두엽의 뇌파측정 부위인 F3, F4에서 fast theta와 slow alpha에 해당되는 뇌파 영역(6~10Hz)이 증가되는데 이와 함께 HRV 상에서 저주파수 영역(low frequency, LF; 0.04~0.14Hz)의 감소 및 고주파수 영역(high frequency, HF; 0.14~0.4Hz)의 증가가 관찰되었다. 뇌파의 증감과 HRV의 각 주파수 대역의 증감 간의 통계적 상관성 분석에서 fast theta (6~8Hz)의 증가는 부교감신경의 활동성과 관련이 있는 것으로 간주되는 HRV의 HF의 증가와 유의한 상관성이 있었다. 반면 slow alpha (8~10Hz)대역의 증가는 HRV의 LF의 감소와 유의한 상관성을 관찰할 수 있었는데, HRV의 HF 영역은 부교감신경의 활동성을 잘 반영해 주는 반면 LF 영역은 교감신경의 활동성을 반영해 주는 대역으로 알려져 있지만 종종 분당 6회 가량의 깊고 느린 복식호흡에서도 이 영역이 활성화되기 때문에 해석상에 유의를 요한다. 이와 유사하게 Kim 등<sup>22)</sup>의 연구에 의하면 아우토젠 명상을 시행하는 동안 HRV로 측정된 심장의 코헤런스(cardiac coherence) 지수가 증가하면 두정엽에서 측정된 알파파의 절대값이 현저히 증가함과 동시에 뇌 전반적인 영역에서도 알파파의 상대값이 증가하였다. 뿐만 아니라 측정 채널 간의 알파 대역의 기능적 연결성도 증가하였다. 이 결과는 심장박동의 규칙적인 증감의 리듬패턴이 이완상태에서 증가하는 뇌의 알파파의 활성화와 유의한 상관관계가 있음을 시사하고 있다. 최근 들어서는 좀더 고차원적인 생체신호 분석기법을 도입하여 심장과 뇌의 연결성 분석이 시도되고 있다. Valenza 등<sup>23)</sup>은 22명의 건강한 참가자들을 대상으로 여러 정서상태를 유발하는 그림카드를 보여주면서 정서반응에 따른 심장과 뇌의 커플링 현상을 128채널 고해상

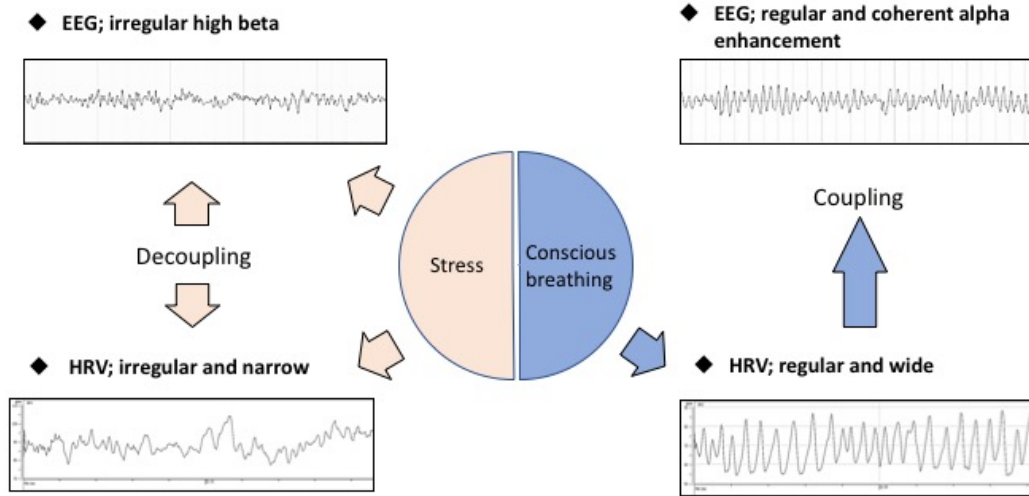


Fig. 1. Diagram of interconnection among respiration, heart beat and brain wave.

도 뇌파측정기를 사용하여 실험하였다. 이 실험에서 전전두엽이 뇌-심장 커플링 현상을 조절하는데 중요한 역할을 하는 것이 관찰되었으며, 측두엽에서 뇌파의 세타파(theta wave) 대역이 HRV의 LF 대역과 유의한 커플링 현상이 나타났는데 그러한 현상은 중등도 수준의 각성 상태와 부정적 정서 자극 시 더욱 두드러졌다. 세타파는 명상이나 기억의 회상, 어려운 수학문제 풀이 등 의식이 내적으로 몰입한 상태에서 강화되는 서파 대역임을 감안할 때 세타파가 특히 심장과의 리듬 동조에 관계된다는 것은 의미 있는 결과이다. 이런 연구결과들을 통해 각각 독립적으로 조절되는 듯한 심장박동의 리듬과 뇌파의 변화가 상호 연결성이 있으며, 특성 의식 상태에서 더 긴밀한 상호작용이 일어나고 있음을 시사한다. 그러나 아직 두 리듬이 어떤 기전으로 상호 영향을 주고 받으며, 더 나아가 심장과 뇌 두 장기간에 서로 영향을 미침에 있어서 어느 것이 다른 장기의 변화에 더 주도적인 역할을 하는지는 아직 충분히 밝혀지지 않았다. 한편 41명의 운동선수들을 대상으로 HRV BFB 훈련을 적용한 Dziembowska 등<sup>24)</sup>의 연구에 따르면 HRV BFB 훈련을 받은 운동선수들에게서 심장의 유연성(flexibility)를 반영해 주는 HRV의 총 파워값의 증가와 함께 설문지로 측정된 상태불안 정도가 유의하게 감소하였다. 뿐만 아니라 뇌파의 변화에서도 대조군에 비해 세타파가 증가하고 전두엽 좌우의 알파파 비대칭성이 개선되는 등 유의미한 지표 변화가 관찰되었다. 앞서 기술한 대로 HRV BFB는 일정한 주기와 리듬의 들숨과 날숨을 반복하여 분당 평균 심박수 증감을 의도된 리듬 패턴으로 조절하는 훈련이다. 이 연구에서 참가자는 의도적으로 뇌파를 조절하려 하지 않았고 단지 호흡조절을 기반으로 한

HRV BFB을 하는 과정에서 심박의 증감 리듬패턴 뿐만 아니라 뇌파의 변화까지도 초래하였다는 것은 심장과 뇌의 상호 연결관계에 있어서 심장의 리듬패턴의 변화가 뇌파의 변화를 이끌어낼 수 있다는 것을 암시하기도 한다. 마음챙김 호흡훈련이 뇌파에 미치는 영향을 살펴본 Bing-Canar 등<sup>25)</sup>의 연구에 따르면 대조군에 비해 마음챙김 호흡훈련을 하는 상태에서 측정된 뇌파에서 알파파가 유의하게 증가되었으며, 마음챙김 호흡훈련이 끝난 직후 뇌파를 측정하는 상태에서 시행한 스트룹 테스트 Stroop test)에서는 오답 선택 시의 알파파 억제 현상이 대조군에 비해 더 유의하게 나타났다. 인지적 행위를 하지 않는 안정상태에서 알파파의 활성화는 뇌의 항상성 유지에 중요한 역할을 하지만 주의를 요하는 상황에서는 적절하게 억제되어야 효과적인 각성 상태에 이를 수 있다. 이 연구에서는 마음챙김 호흡훈련을 통해 단순히 안정상태의 알파파가 강화되었을 뿐만 아니라 스트룹 테스트 과정에서 자신이 실수를 하는 순간 알파파가 효과적으로 억제되므로서 “알아차림”의 능력이 보다 개선될 수 있음을 보여주고 있다. 심박을 실시간 모니터링하면서 호흡을 특정한 리듬에 맞게 의도적으로 조절하는 HRV BFB과는 달리 마음챙김 호흡훈련에서는 호흡을 의도적으로 조절하지 않고 그저 호흡이 저절로 일어나는 것을 의식적으로 관찰하는 것에 머무른다. 즉 이때 호흡은 흘러지기 쉬운 의식을 내적으로 집중하기 위한 하나의 기재로 활용되며 거기에 어떤 조절 의도를 개입시키지 않으나 그렇게 “깨어서 관찰”하는 것만으로도 호흡을 안정화시키는 효과가 나며, 이렇게 의도를 내려놓고 깨어있는 상태를 유지하는 것으로서 알파파의 활성화와 내적 안정, 그리고 자신의 행위에 대한 알아차

림의 능력을 향상시켜 줄 수 있음을 알 수 있다. 명상에서는 호흡조절을 중요시 여기지만, 항상 호흡조절에 의존하는 것은 아니다. 의식적인 호흡이 심장박동리듬을 변화시키고 이 변화와 커플링 된 뇌파의 변화가 유도되어 명상 상태로 유도될 수 있지만 마음챙김에서와 같이 의도를 가지고 호흡을 조절하지 않더라도 명상을 통한 직접적인 의식의 변화가 뇌파의 변화로 반영될 수 있다.

지난 수십년간 웰스케이 영역에서 다양한 형태의 명상이나 호흡법 등이 소개되었고 많은 연구들을 통해 명상을 통한 호흡의 안정화, 혹은 의도적인 호흡훈련이 심신을 안정시키고 자율신경 활동성이 변화되며 인지능력이 향상되거나 뇌파가 변화하는 결과들을 관찰해 왔다. 불안한 감성상태는 불규칙하고 빠른 베타파를 유발하며 심장박동을 증가시키고 HRV를 감소시키며 호흡을 가쁘게 만든다. 역으로 호흡을 규칙적이고 안정되게 다스림으로서 심장박동을 감소시키고 HRV를 증가시키며 뇌에서는 안정된 알파파를 활성화시키고 고요하고 편안한 심리상태를 유지하며 '알아차림'의 능력도 향상될 수 있다. 심리적 상태와 생리적 상태는 서로 긴밀하게 연결되어 있어서 어느 하나가 변화되면 다른 한쪽도 연동되어 변화될 수 있음을 알 수 있다.

## 결 론

본 종설에서는 자율신경에 의해 조절되는 호흡에 우리가 의식을 기울임으로서, 혹은 의도적인 훈련을 함으로서 역으로 자율신경의 패턴을 변화시킬 수 있는 가능성과 원리에 대해 알아보았다. 또한 그러한 호흡의 다스림이 심장박동의 리듬패턴에 영향을 미칠 수 있음을 확인해 보았다. 호흡을 다스릴 때, 비단 자율신경과 심장박동의 리듬패턴만 변화되는 것이 아니라 뇌신경의 활동성을 반영하는 뇌파도 연동되어 변화함을 알 수 있었다. 그러나 호흡이 뇌파의 변화를 유도하는 기전이 호흡과 뇌파의 직접적인 커플링에 의한 것인지 아니면 심장박동의 변화에 의한 2차적인 결과인지를 명확히 구분할 수 있는 연구 결과들은 충분치 않았다. 향후 연구에서는 생리신호간의 인과성에 대한 실험적 검증을 통해 이 부분을 보다 명확히 밝힐 필요가 있다.

서양의 생리학적 관점에서는 호흡은 산소를 흡입하고 이산화탄소를 배출하기 위한 생리적 행위일 뿐이지만, 동양에서는 호흡을 의식적으로 조절하고 다스림으로서 보다 나은 심리적, 생리적 상태에 이르기 위한 중요한 중재기법으로 활용되어 왔다.<sup>2,8)</sup> 마음은 형체가 없지만 뇌파, 호흡, 심박 등의 몸의 움직임

임과 리듬으로 표현된다. 자율중추에 의해 조절되면서도 수의적으로 조절이 가능한 호흡은 감정과 자율신경계에 우리의 의식을 개입시킬 수 있는 훌륭한 조절도구이며 심신의 전인적 돌봄을 위한 중요한 간호중재법이 될 수 있을 것이다.

## REFERENCES

1. Kabat-Zinn J. An outpatient program in behavioral medicine for chronic pain patients based on the practice of mindfulness meditation: theoretical considerations and preliminary results. *Gen Hosp Psychiatry*. 1982;4(1):33-47.
2. Miller JJ, Fletcher K, Kabat-Zinn J. Three-year follow-up and clinical implications of a mindfulness meditation-based stress reduction intervention in the treatment of anxiety disorders. *Gen Hosp Psychiatry*. 1995;17(3):192-200.
3. Marlatt GA, Kristeller JL. Mindfulness and meditation. In Miller WR, editor. *Integrating spirituality into treatment: Resources for practitioners*. reprinted. Washington, DC: American Psychological Association; 1999. p. 67-84.
4. Murphy M, Donovan S, Taylor E. The physical and psychological effects of meditation: a review of contemporary research. Published by the Institute of Noetic Sciences. 1997.
5. Hilton L, Hempel S, Ewing BA, Apaydin E, Xenakis L, Newberry S, et al. Mindfulness meditation for chronic pain: systematic review and meta-analysis. *Ann Behav Med*. 2017;51(2):199-213. <https://doi.org/10.1007/s12160-016-9844-2>
6. Davidson RJ, Kabat-Zinn J, Schumacher J, Rosenkranz M, Muller D, Santorelli SF, et al. Alterations in brain and immune function produced by mindfulness meditation. *Psychosom Med*. 2003;65(4):564-70.
7. Colzato LS, Ozturk A, Hommel B. Meditate to create: the impact of focused-attention and open-monitoring training on convergent and divergent thinking. *Front Psychol*. 2012;3. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00116>
8. Brown RP, Gerbarg PL. Yoga breathing, meditation, and longevity. *Ann N Y Acad Sci*. 2009;1172(1):54-62. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.04394.x>
9. Nolan RP, Kamath MV, Floras JS, Stanley J, Pang C, Picton P, et al. Heart rate variability biofeedback as a behavioral neurocardiac intervention to enhance vagal heart rate control. *Am Heart J*. 2005;149(6):1137. e1-7. <https://doi.org/10.1016/j.ahj.2005.03.015>
10. Lehrer PM, Vaschillo E, Vaschillo B. Resonant frequency biofeedback training to increase cardiac variability: Rationale and manual for training. *Appl Psychophysiol Biofeedback*. 2000;25(3):177-91.
11. Baron Short E, Kose S, Mu Q, Borckardt J, Newberg A, George MS, et al. Regional brain activation during meditation shows time and practice effects: an exploratory fMRI study. *Evid*

- Based Complement Alternat Med. 2010;7(1):121-7.  
<https://doi.org/10.1093/ecam/nem163>
12. Kakigi R, Nakata H, Inui K, Hiroe N, Nagata O, Honda M, et al. Intracerebral pain processing in a yoga master who claims not to feel pain during meditation. *Eur J Pain*. 2005;9(5):581-9.  
<https://doi.org/10.1016/j.ejpain.2004.12.006>
  13. Kerr CE, Jones SR, Wan Q, Pritchett DL, Wasserman RH, Wexler A, et al. Effects of mindfulness meditation training on anticipatory alpha modulation in primary somatosensory cortex. *Brain Res Bull*. 2011;85(3):96-103.  
<https://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2011.03.026>
  14. Huang HY, Lo PC. EEG dynamics of experienced Zen meditation practitioners probed by complexity index and spectral measure. *J Med Eng Technol*. 2009;33(4):314-21.  
<https://doi.org/10.1080/03091900802602677>
  15. Cahn BR, Polich J. Meditation states and traits: EEG, ERP, and neuroimaging studies. *Psychol Bull*. 2006;132(2):180-211.  
<https://doi.org/10.1037/0033-2909.132.2.180>
  16. Smith JC, Ellenberger HH, Ballanyi K, Richter DW, Feldman JL. Pre-Bötzinger complex: a brainstem region that may generate respiratory rhythm in mammals. *Science(New York, NY)*. 1991;254(5032):726-9.
  17. Bonham A. Neurotransmitters in the CNS control of breathing. *Respir Physiol*. 1995;101(3):219-30.
  18. Hayano J, Yasuma F, Okada A, Mukai S, Fujinami T. Respiratory sinus arrhythmia. *Circulation*. 1996;94(4):842-7.
  19. Telles S, Nagarathna R, Nagendra H. Autonomic changes during " OM" meditation. *Indian J Physiol Pharmacol*. 1995;39: 418-20.
  20. Sudsuang R, Chentanez V, Veluvan K. Effect of Buddhist meditation on serum cortisol and total protein levels, blood pressure, pulse rate, lung volume and reaction time. *Physiol Behav*. 1991;50(3):543-8.
  21. Takahashi T, Murata T, Hamada T, Omori M, Kosaka H, Kikuchi M, et al. Changes in EEG and autonomic nervous activity during meditation and their association with personality traits. *Int J Psychophysiol*. 2005;55(2):199-207.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2004.07.004>
  22. Kim DK, Rhee JH, Kang SW. Reorganization of the brain and heart rhythm during autogenic meditation. *Front Integr Neurosci*. 2013;7:109.  
<https://doi.org/10.3389/fnint.2013.00109>
  23. Valenza G, Greco A, Gentili C, Lanata A, Sebastiani L, Menicucci D, et al. Combining electroencephalographic activity and instantaneous heart rate for assessing brain-heart dynamics during visual emotional elicitation in healthy subjects. *Philos Trans A Math Phys Eng Sci*. 2016;374(2067):20150176.  
<https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0176>
  24. Dziembowska I, Izdebski P, Rasmus A, Brudny J, Grzelczak M, Cysewski P. Effects of heart rate variability biofeedback on EEG alpha asymmetry and anxiety symptoms in male athletes: A pilot study. *Appl Psychophysiol Biofeedback*. 2016;41(2):141-50.  
<https://doi.org/10.1007/s10484-015-9319-4>
  25. Bing-Canar H, Pizzuto J, Compton RJ. Mindfulness-of-breathing exercise modulates EEG alpha activity during cognitive performance. *Psychophysiology*. 2016;53(9):1366-76.  
<https://doi.org/10.1111/psyp.12678>