

fNIRS を用いた瞑想中の脳状態の検討

An fNIRS study of brain states during meditation

片山 朋香^{*1} 日和 悟^{*2} 廣安 知之^{*2}
Tomoka KATAYAMA Satoru HIWA Tomoyuki HIROYASU

^{*1}同志社大学大学院 生命医科学研究科

Graduate School of Life and Medical Sciences, Doshisha University

^{*2}同志社大学 生命医科学部

Faculty of Life and Medical Sciences, Doshisha University

In recent years, mindfulness meditation is gaining popularity to improve our concentration and the skills of keeping a distance from negative things. In this study, we examined the brain states of meditation experts and novices during breath-counting meditation by using functional near-infrared spectroscopy (fNIRS). As a result of functional connectivity analysis, superior parietal lobule of them cooperated with other regions to deal with their own body sensation. The connections of novices between the right middle frontal gyrus and the regions related to vision processing were lower during the meditation state than the resting state. Therefore, it was suggested that novices were able to control attention, although brain states were different from those of meditation experts. In the future, based on this analysis, we will quantify the brain state during meditation.

1. 序論

近年, これからの持続可能な経済や社会を考えていくために, well-being という基本概念が注目されている. well-being とは, 身体的, 精神的, 社会的に良好な状態であることを意味し, 人間の尊厳さや豊かさをどう捉えるかに関わる. well-being を実現するための 1 つの手段としてマインドフルネス瞑想がある. マインドフルネスとは, 過去や未来にとらわれず現在の瞬間に非判断的に注意を向けることであり, マインドフルネス瞑想することによって, 集中力, ネガティブなことから距離を置くスキルの向上が期待されている. しかし, 瞑想初心者は注意がそれやすく瞑想できているかわからないという課題がある. 瞑想初心者が瞑想から気がそれていることに気づく能力を向上させるために, 瞑想時の脳状態の定量化とフィードバックが求められる. これまでに, 瞑想熟練者は瞑想によって脳状態が変化することが報告されている [Lazar 05]. しかし, 瞑想初心者が瞑想したときの脳状態の変化は明らかになっていない. そこで, 本研究では, 瞑想熟練者と比較した瞑想初心者の瞑想時の脳状態を明らかにすることを目的とする. 日常に近い状態で計測可能な fNIRS を用いて, 瞑想熟練者と初心者の安静状態と瞑想状態を比較した.

2. 実験方法

2.1 被験者

被験者は, 瞑想初心者 10 名 (男性, 23.1 ± 1.5 歳, 右利き) と瞑想熟練者 3 名 (男性, 45.3 ± 13.6 歳, 右利き, 瞑想訓練時間: 1750, 1800, 5000 時間) であった.

2.2 脳機能イメージング

サンプリング周波数 10Hz の fNIRS 装置 (ETG-7100, 日立製作所) を用いて, 全脳の 116 チャンネルを計測した. また, 確率的レジストレーションよりチャンネルに該当する Automated Anatomical Labeling (AAL) による脳部位を特定した. 116 の脳領域がある AAL のうち, 過半数の被験者で該当があった 48 部位のみを本研究では用いた.

2.3 実験プロトコル

実験は, 安静 1, 瞑想, 安静 2, 安静 3 の 4 区間で構成された. 各区間 5 分間の計 20 分間を fNIRS で計測し, 終始閉眼で行った. 図 1 に, 実験設計を示す.

瞑想時には, 初心者でも実践しやすくするため, 呼吸の出入りを数えることで, 注意を維持する方法である数息観を行った. 数息観中は, 自然な呼吸を心がけ, 意図的に変えず, 呼吸に意識を集中すること, 息を吸い始め, 吐き終わるまでを声に出さず 1 つと数え, 10 まで数えたら再び 1 に戻ることを繰り返すことを指示した. また, 数を忘れた場合や呼吸を数えること以外に意識がそれた場合は, 再び呼吸に意識を戻し, 1 から数え直すことを指示した.

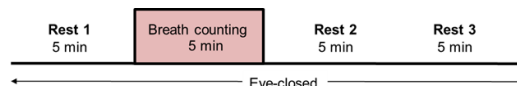


図 1: Experimental Design

3. 解析方法

3.1 前処理

得られたデータに対して, 低周波ドリフトや心拍などのノイズを除去するために, バンドパスフィルター (0.008Hz-0.09Hz) で処理した.

3.2 機能的コネクティビティ解析

本稿では, 安静 1 のみを安静時として解析を行った. 脳領域間における機能的結合を検討するために, 安静時, 瞑想時において 116 チャンネル間の相関係数行列を作成した. 得られた行列に対し, フィッシャーの z 変換を行い, 母相関係数の推定を行った. 次に, AAL の各脳領域に対応するチャンネルの相関係数を平均し, AAL の 48 部位の相関係数行列を作成した. この行列に対して, 脳領域をノード, 相関係数をエッジとみなし, エッジ密度 15% でバイナリ化した. 安静時と瞑想時の脳状態を比較するために, ネットワーク特徴量の Degree を算出した. 式 1 に Degree の算出式を示す. ノード i の次数 k_i は, 行列の i 行目の値の合計値である.

$$k_i = \sum_{j \neq i} a_{ij} \quad (1)$$

連絡先: 片山 朋香, 同志社大学大学院生命科学研究科, 京都府京田辺市多々羅都谷 1-3, 0774-65-6130, tkatayama@mis.doshisha.ac.jp

4. 結果と考察

4.1 瞑想者の安静時と瞑想時の比較

瞑想熟練者 3 名の安静時と瞑想時の平均 Degree の差分が平均 $\pm 2\sigma$ 以上の部位を安静時と瞑想時に差が大きいとした。その結果、左中前頭回眼窩部は、安静時よりも瞑想時で Degree が低く、右上頭頂小葉は、安静時よりも瞑想時で Degree が高くなった。図 2 は、初心者の左中前頭回眼窩部と右上頭頂小葉の結合先を示す。エッジは、被験者 3 名のうちの結合している人数の割合を示す。

眼窩前頭野は、瞑想の訓練によって活性化することが報告されている [Tomasino 16]。瞑想時に他の部位との結合が低くなったことから、瞑想に関係のない部位と結合しなくなったと考えられる。上頭頂小葉は、体性感覚情報の統合による自己身体情報より、運動知覚や対象物と自己との相互関係などの情報処理が行われている [Lewis 00]。瞑想熟練者は自己の身体感覚を観察して正しく瞑想したため、上頭頂小葉が瞑想時に他の部位と協調して働いたと推察される。瞑想熟練者の結果から、中前頭回眼窩部は瞑想に必要な部位との結合が切れ、上頭頂小葉は他の部位と協調して働く状態が正しい瞑想の脳状態と言える。

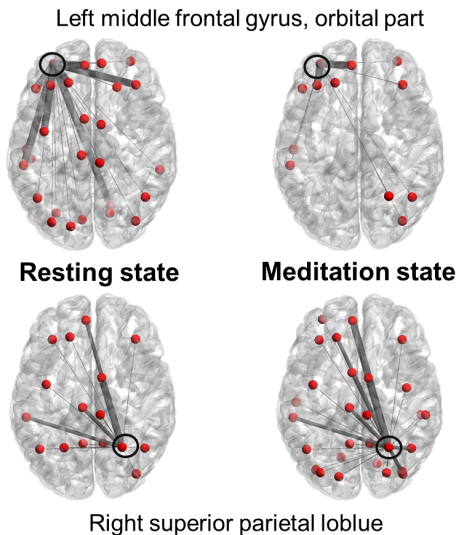


図 2: Functional connectivity of the orbital part of left middle frontal gyrus and right superior parietal lobule during resting and meditation states

4.2 初心者の安静時と瞑想時の比較

初心者 10 名の安静時と瞑想時の平均 Degree を有意水準 5% で t 検定した結果、右中前頭回、右舌状回ともに、Degree が安静時よりも瞑想時で有意に低くなった。安静時と比較して瞑想時で、多くの被験者の右中前頭回は舌状回や鳥距溝と結合しなくなった。一方で、多くの被験者の右舌状回は、瞑想に中前頭回付近と結合しなくなった。図 3 は、初心者の右中前頭回と右舌状回の結合先を示す。エッジは、被験者 10 名のうちの結合している人数の割合を示す。

舌状回と鳥距溝は視覚処理に関係がある。中前頭回は瞑想時に活動し注意制御することが報告されている [Hasenkamp 12]。瞑想時には、注意制御に関わる部位のみで協調して活動したため、注意制御に関係がない視覚野との結合は少なくなったと考えられる。これらの結果と瞑想熟練者の結果から、初心者は瞑

想熟練者と脳状態は異なったが、安静時と比較して瞑想時に注意制御できていたことが示唆される。

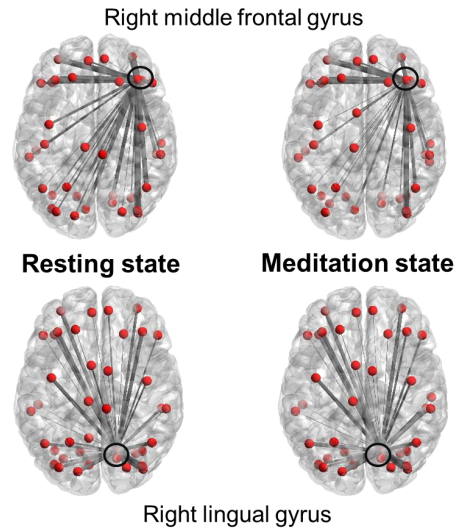


図 3: Functional connectivity of right middle frontal gyrus and right lingual gyrus during resting and meditation states

5. 結論

瞑想中の脳状態の定量化とフィードバックによって、初心者は正しく瞑想ができ、well-being の向上につながることを期待される。本研究では、瞑想熟練者と比較した初心者の瞑想時の脳状態を解明することを目的として検討を行った。日常に近い状態で計測可能な fNIRS を用いて、初心者と瞑想熟練者の数息観中の脳血流変化を計測した。瞑想熟練者は、安静時と比較して瞑想時に中前頭回眼窩部が瞑想に必要な部位との結合が切れ、上頭頂小葉は他の部位と協調して自己の身体感覚を処理している状態になった。初心者は、安静時と比較して瞑想時に注意制御に関わる部位のみで協調して活動し、視覚野との結合は少なくなった。したがって、初心者は注意制御できているが、身体感覚に注意を向けられていないことが示唆された。今後、本解析をもとに瞑想中の脳状態の定量化を行い、さらなる検討を進めていく。

参考文献

- [Lazar 05] S.W. Lazar, et al., Meditation experience is associated with increased cortical thickness, *Neuroreport*, vol. 16, no. 17, pp. 1893-1897(2005).
- [Hasenkamp 12] W. Hasenkamp, Mind wandering and attention during focused meditation: a fine-grained temporal analysis of fluctuating cognitive states, *Neuroimage*, vol. 59, no. 1, pp. 750-760(2012).
- [Tomasino 16] Tomasino, Barbara, Fabio Campanella, and Franco Fabbro, Medial orbital gyrus modulation during spatial perspective changes: Pre-vs. post-8weeks mindfulness meditation, *Consciousness and cognition*, vol. 40, pp. 147-158(2016).
- [Lewis 00] Lewis, James W., and David C. Van Essen, Corticocortical connections of visual, sensorimotor, and multimodal processing areas in the parietal lobe of the macaque monkey, *Journal of Comparative Neurology*, vol.428, pp. 112-137(2000).