

触覚の学習と脳の可塑性

中野 莉帆 (人間社会学域人文学類心理学コース 3年)

指導教員

小島 治幸 (人間社会研究域人間科学系 教授)

1. 研究目的と先行研究

日常生活において人は様々な物体に対して接触を行う。触覚による物体の弁別はどのように可能となっているのだろうか。そのとき脳ではどのような変化がおこっているのだろうか。

Harris, et al. (2001)は指先で刺激の表面の紙質を弁別させる実験を行った。弁別学習を行った手から他方の手への弁別成績の転移は刺激の紙質の違いに依存するというを示した。指先で対象を弁別する際には紙質のみならず圧覚(圧力感覚)も重要な要素となる。そのような感覚情報を用いる接触行動の一つに物の厚みの弁別があげられる。「厚み」は物体に触る触覚と圧力に関わっているため、触圧覚の実験に用いる刺激として適当であると考えた。

Murakami Y, et al(2010)は機能的磁気共鳴装置(f-MRI)を使用して実験を行った。被験者を視覚的な手がかりなしに麻雀牌を識別できる7名(経験群)、できない10名(未経験群)にわけた。両群に対して視覚的な手掛かりなしに親指で接触作業および触覚識別作業を行わせ、f-MRIで測定した。測定の結果、接触作業では両群で使用した親指と反対側の感覚運動皮質のみで活性化が見られた。触覚識別作業では両群で両側の感覚運動皮質で活性化が見られた。加えて経験群では活性部位がより大きい傾向がみられた。

また、Watanabe, et al (1996)は、10チャンネルの近赤外分光法(NIRS)を用い、各チャンネルで酸化ヘモグロビン(Hb-oxy)と脱酸化ヘモグロビン(Hb-deoxy)を記録したところ、中心溝を中心として指の運動に同期してHb-oxyの増加とHb-deoxyの軽度減少がみられた、と述べている。触覚を用いる本実験の測定対象は体性感覚野と運動野であるが、これらは中心溝後方から左右へ広がっている。よって、本実験では左右の側頭葉前方からNIRSを用いて弁別学習前と弁別学習後で体性感覚野と運動野の血中酸素濃度に変化があるか調べる。

Blood oxygenation level dependant 効果(BOLD 効果)とは、脳の神経活動によって酸素が代謝されて deoxy-Hb 量が増加し、その酸素不足分を補うために酸素を含んだ oxy-Hb が流入することである。つまり、oxy-Hb の増加が観察された部位では学習が進んでいると考えられる。

よって、触覚学習が進むことで運動野と体性感覚野で oxy-Hb の増加が観察できるのではないか。oxy-Hb の増加は学習によるものではないかという仮説をたてた。

2. 研究方法

実験日時・場所及び実験参加者

2012年10月16日(火), 30日(火), 11月7日(火), 8日(水), 13日(月), 14日(火), 15日(木), 21日(水), 金沢大学総合教育2号館7階の772号室で行った。

実験参加者は学生22人(19歳~23歳, 左利き2名)だった。

装置と実験手続き

WindowsのPC2台(型番:Dell Vostro_cog_hk1と), Super Lab4. 0, 同じ紙質で5cm×5cmの55mg・65mg・75mg・85mg・95mg・105mgの6枚の紙(紙の種類:クラシュ)に竹串をつけた刺激(図1参照), アイマスク, NIRS, 顎台を使用した。紙の刺激は55mgを標準刺激として用いた。

実験手続き

運動課題は, 目隠しで非利き手の人差し指と親指を電子音に合わせて開閉するという課題であった。NIRSで計測された血中酸素濃度の変化が指先の動きによるものではないと確認するための課題であった。

弁別課題は, 目隠しで非利き手の親指と人差し指で電子音に合わせて標準刺激と比較刺激に接触し, 厚みを弁別する課題である。標準刺激と比較刺激のどちらを先に提示するかは実験参加者間で相殺した。実験参加者に「2度目に触った刺激の方が厚い/薄い」と答えてもらい, 反応は全てボイスレコーダーで記録した。厚みの差異による正答率の差異を調べた。

弁別学習では, 目隠しで非利き手の人差し指と親指で全ての刺激を弁別し, 厚いと感じた順に物体をならべる試行を10回行う。実験参加者が並べた順番と実際の厚みを照らし合わせた正誤は1試行ごとにフィードバックした。

実験参加者には1週間以上間隔をあけて, 2回実験に参加してもらった。1セッションには運動課題と弁別課題を含んでいた。1回目の実験では全員に同じ課題を行ってもらった。1回目の実験における実験参加者全員を弁別学習前群とした。2回目の実験では参加者を弁別学習あり群となし群に振り分けた。弁別学習あり群は測定の前にもう一度弁別学習を行った。弁別学習なし群は1回目の実験と同様に測定した。

近赤外分光法(NIRS)による脳血流測定

日立メディコ社製24チャンネル光トポグラフィ装置(ETG-4000)を使用した。国際10-20法に基づいて実験参加者の左右の体性感覚野と運動野にかかる側頭葉に設置した(図3を参照)。



図 1：提示した刺激

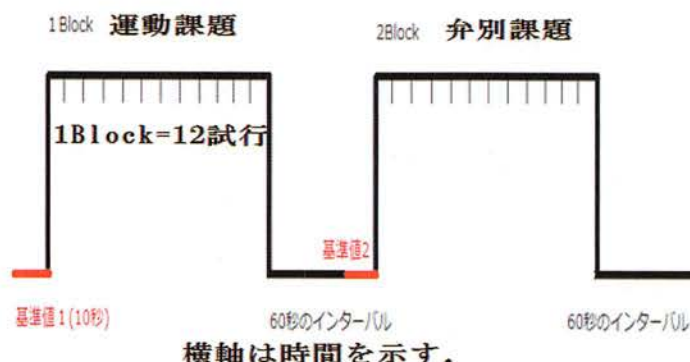


図 2：実験の流れ



図 3：NIRS 装着図

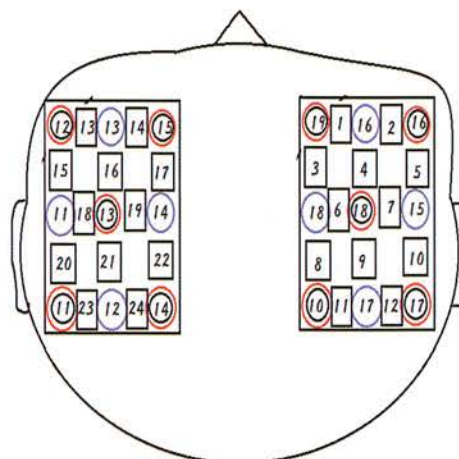


図 4：プローブとチャンネルの位置

※ 丸はプローブ番号を指す。四角はチャンネルの位置に当たり、番号は測定されるチャンネル番号を指す。

3. 研究成果と考察

弁別学習前群・弁別学習あり群・弁別学習なし群、いずれの群でも弁別課題における正反応率に有意差はみられなかった。厚みの差異が最小 10mg では、弁別学習の有無に関わらず弁別できてしまったためである。

運動課題では、弁別学習なし群の oxy-Hb は弁別学習前群と同じように運動野の広い範囲で減少した(図 5 の青丸の部分参照)。この結果に対して、先行研究に基づいて 3 つの理由が考えられる。

- 1, 運動している際、大脳基底核や脳幹など運動に関わる脳の深部へ oxy-Hb を多く含んだ血液を送っているためではないか(人見, 萩原(2012))。
- 2, 指を動かすだけの単調な課題によって眠くなり、皮質及び皮質下の血流そのものが低下したのではないか。
- 3, 指を開閉する運動課題では、「このタイミングでは指を閉じてはいけない/開いてはいけない

ない」という抑制が大脳基底核からもたらされ、大脳皮質の活動が低下したのではないか(高草木(2009))。

一方、弁別学習あり群は運動課題において oxy-Hb が低下した範囲が減った(図 6 の赤丸の部分を参照)。この結果に対する理由は以下の通りである。

1, 追加の弁別学習によって、活性化する脳の部位が上昇したのではないか(Murakami et al(2010))。

弁別学習あり群・弁別学習なし群、両群とも弁別課題において弁別学習前と弁別学習後で oxy-Hb に大きな変化はなかった。よって触覚学習が進むと運動野と体性感覚野で oxy-Hb の増加が観察できるのではないか、という仮説は棄却された。その理由として以下の 2 つが挙げられる。

1, 弁別課題では運動だけでなく口頭での反応も行ったことで、近接する言語野や聴覚野にも血液が流入したためではないか。

2, 村上(2008)らによれば、触識別時には両側の対側感覚運動や(SMC), 小脳を含む広い領域が関与していることが示されている。よって、弁別課題時は運動課題時よりも広範な領域が関与したために、oxy-Hb の有意な低下が見られにくかったのではないか。

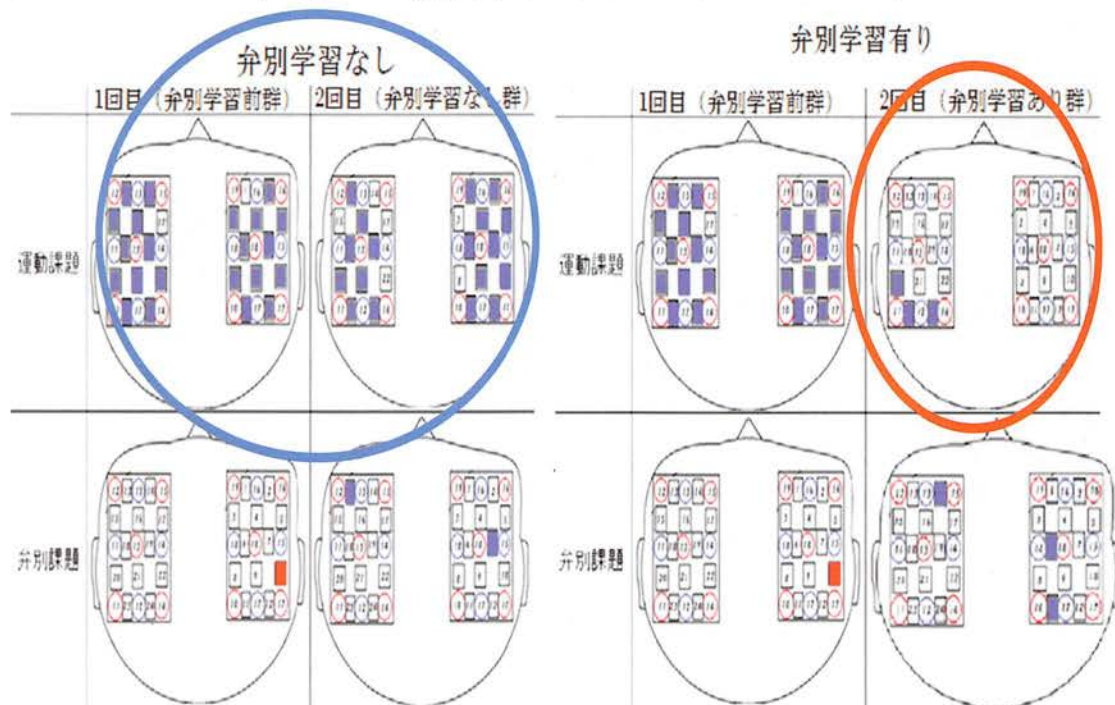


図 5 : 弁別学習なし群

図 6 : 弁別学習あり群

※青色は有意に oxy-Hb が減少したチャンネル, 赤色は有意に増加したチャンネルである。実験参加者の一部は NIRS で測定できなかったため、弁別学習前群は 19 人、弁別学習なし群は 9 人、弁別学習あり群は 8 人。

4. 結論

弁別学習前群・弁別学習あり群・弁別学習なし群, いずれの群も運動課題・弁別課題で, 運動野と体性感覚野で oxy-Hb の増加が観察できなかった。

参考文献

- Harris, J. A. , Harris, I. M. and Mathew E. Diamond (2001). The Topography of Tactile Learning in Human. s. The Journal of Neuroscience, February 1, 2001, 21(3):1056-1061
- 岡崎公彦・武井茂樹・石田哲浩・新井龍義(2006). 過呼吸による脳波変化と大脳皮質ヘモグロビン動態との関連. 臨床脳波 48(4):212-218
- 文哲也・森田喜一郎・浅海靖恵・山本篤・佐々木祐二・志波直人(2011). 繰り返し掌握運動中の脳血流変動の特性—多チャンネル NIRS を用いて—. 久留米医学会誌 74:122-129
- Murakami Y, Watanabe S, Kuruma H, Matsuda T, Watanabe R, Senoo A(2010). Brain Organization during Passive Touch and Tactile Discrimination and the Influence of Learning: a Functional MRI Study . Journal of Physical Therapy Science(0915-5287)22(1), 1-6
- 村上仁之・渡邊修・来間弘展・松田雅弘・津吹桃子・妹尾淳史・米本恭三(2008). 触覚による識別時の脳内機構と学習の影響について—機能的 MRI による分析. 総合リハビリテーション 36(3), 263-268.
- Watanabe E, Yamashita Y, Maki A, Ito Y, Koizumi H(1996). Non-invasive functional mapping with multi-channel near infra-red spectroscopic topography in humans. Neurosci Lett, 205: 41-44.
- 人見崇寛・萩原啓(2012). 他動揺運動刺激の変化による脳内血行動態への影響. バイオフィードバック研究 39(1).
- 高草木薫(2009). 大脳基底核による運動の制御. 臨床神経 49, 325-334.