体験記憶が微触感錯覚に与える影響の評価

—NIRSによる脳血流量測定を用いて—

○板橋 智也、太田 文也、川口 拓也、河合 隆史、三家 礼子（早稲田大学）、
盛川 浩志（早稲田大学、青山学院大学）

Evaluation of an effect on cross-modal illusion of 'weak' tactile sensation by experience memory

-Use measuring cerebral blood flow with NIRS-

Tomoya ITABASHI, Fumiya OTA, Takuya KAWAGUCHI, Takashi KAWAI, Reiko MITSUYA (Waseda University),

Hiroiyuki MORIKAWA (Waseda University, Aoyamagakuin University),

1. はじめに

近年、感覚間相互作用（クロスモダリティ）という人間の特性が注目されている。感覚間相互作用とは「ある感覚の情報から他の感覚の情報を補完して認知、解釈する特性」¹⁾である。その効果は個人差が大きく、影響する範囲が明確でない場合が多い。また主観評価が多く客観評価は少ない。

そこで本研究では、客観指標のNIRS (Near Infra-Red Spectroscopy) で測定した脳血流量と、主観指標のVAS (Visual Analogue Scale) で、個人差の一部である体験記憶の影響を評価・検討した。

対象は視覚と触覚の感覚間相互作用である微触感錯覚とした。微触感錯覚は物体が身体の一部に接触する視覚情報によって触覚が認知される現象である。具体的にはCG球体が掌を刺激する映像で温冷覚や風圧等微かな皮膚感覚が認知される。

先行研究²⁾ではCG球体の運動方法や融像距離等5要因で錯覚強度が検証され、CG球体が掌上で融像し接触して見えることが重要だと示唆されている。

2. 実験

実験は先行研究²⁾同様、明るい室内で被験者直上の電燈を消灯し行った。被験者は男子大学生15名で、全員書面にて実験参加の同意を得た。

CG球体の表示に両眼透過型HMDのMoverio BT-200 (EPSON) を、脳血流量の測定にNIRSのETG-4000 (日立メディコ) を用いた。NIRSは3×3のプロープ2つを国際10-20法に従ってC3にCh4、C4にCh16を配置した。被験者にHMDとNIRSを装着し、右の掌を天井に向け机の上に置き動かさないよう指示した。その後CG球体(半径約2cm)が掌上で融像するよう調整させた。実験の様子を図1に示す。

3回の刺激呈示を行い、呈示後VASで錯覚強度の評価を求めた。1回目と2回目の間に所属群に従った実物刺激を与え、2回目と3回目の間を2日以上空けた。群番号と実物刺激の対応を表1に示す。

実験刺激の呈示時間は6分半で、15秒の静止の後、6秒の運動5種類(前後、左右、落下、旋回、沈下)と9秒の静止をブロックデザインに従って25回繰り返した。この実験刺激の流れを図2に示す。

図1 実験の様子

表1 各群における実物刺激

群番号				
1	2	3	4	5
前後	左右	落下	静止	無し

図2 実験刺激の流れ

3. 解析手法

本研究では、NIRS信号に多重解像度解析を行った後、代表値の算出を行った。

多重解像度解析とは、時間周波数解析である離散ウェーブレット変換を用いて信号を階層的に分解する手法である。変換式³⁾を次に示す。

$$f(t) = \sum_{j=1}^J \sum_n d_{j,n} \psi_{j,n}(t) + \sum_n c_{j,n} \phi_{j,n}(t) \quad (1)$$

$d_{j,n}$ は信号 f とウェーブレット $\psi_{j,n}$ との内積、 $c_{j,n}$ は信号 f とスケーリング関数 $\phi_{j,n}$ との内積。

多重解像度解析をNIRS信号に行う有効性を示唆した研究⁴⁾と同様Daubechies7ウェーブレットを用い、15秒周期の信号を含む d_1 成分と1レベル高い d_8 成分で信号を再合成し、ノンパラメトリックな正規化を行った。その式を次に示す。

$$Z = \frac{X_t - \text{med}(X)}{\text{NIQR}(X)}, \text{NIQR}(X) = \frac{\text{IQR}(X)}{1.3489} \quad (2)$$

X_t は信号値、medは中央値、IQRは四分位範囲。

代表値はCh4・Ch7・Ch10の、運動開始前2~1秒の平均を引き、同一の運動で加算平均し、運動開始後3~6秒の平均の、3チャンネルの平均値とした。上記3チャンネルはVirtual Registration⁵⁾⁶⁾より一次体性感覚野に対応するとされている。

4. 結果

VAS、Oxy-Hb、Deoxy-Hb各々に群、体験回数、運動種類の3要因で三元配置分散分析を行った結果、VASは群の主効果($p < 0.001$)、回数の主効果($p = 0.024$)、群×運動交互作用($p = 0.010$)が有意、Oxy-Hbは回数の主効果($p = 0.025$)が有意、Deoxy-Hbは群×運動交互作用($p = 0.013$)が有意、回数の主効果($p = 0.060$)が有意傾向であった。

交互作用有意の項目の単純主効果検定の結果、VASは運動の単純主効果が群3で有意($p = 0.021$)、群2で有意傾向($p = 0.051$)、群の単純主効果が全運動で有意($p < 0.05$)、Deoxy-Hbは運動の単純主効果が群1で有意($p = 0.009$)、群5で有意傾向($p = 0.087$)、群の単純主効果が左右運動で有意($p = 0.045$)、前後運動($p = 0.090$)、落下運動($p = 0.065$)で有意傾向であった。

主効果有意及び単純主効果有意の項目のBonferroni補正による多重比較の結果を図3に示す。

VASとOxy-Hb、Deoxy-Hbの間の対応を見るため、相関分析を全被験者同一条件となる1回目の結果のみで行った。結果Deoxy-HbとVASの間に弱い正の相関が認められた($r = 0.246$, $p = 0.0330$)。

図3 多重比較の結果

5. 考察

3回目のVAS評価値及びOxy-Hbの変化値が有意に低いことから、脳内で情報が統合される際に過去の記憶の影響を受け、錯覚強度及び体性感覚野周辺の活動が低下したことが示唆された。また類似

した運動で各群の評価値の傾向が似ていることから、運動の空間的差異が錯覚強度に影響している可能性が示唆された。特に、運動と体験の差異が大きい方が評価値が高い傾向にあり、同様の傾向がDeoxy-Hbの減少量にも表れている。さらに、全運動において群4の評価値が高いことから、具体的な体験ではなく、触覚情報を推測する手掛かりのような体験が評価値を高くする可能性が示唆された。これは、視覚情報から推定される触覚情報と実際の触覚情報との間の齟齬を解釈する際、記憶と実験刺激の状況が異なり違和感が生じず、記憶によって錯覚強度が増加したと推測できる。

VASとDeoxy-Hbの間に弱いながらも相関が認められたことから、NIRSによる脳血流量測定が錯覚強度の評価に使える可能性が示唆された。しかしNIRSで測定されたDeoxy-Hbは脳の細い血管と頭皮の血流が混ざっており、微触感錯覚生起のメカニズムを解明するにはより深い検証が必要である。

6. まとめ

感覚間相互作用の一種である微触感錯覚において、体験記憶が錯覚強度に与える影響を、VASと、NIRSで測定した脳血流量を用いて評価した。結果、具体的な体験記憶は時間経過と共に脳活動抑制の方向に働き、触覚を推定する手掛りのような体験記憶が錯覚強度を増す可能性が示唆された。また、本研究の解析手法を用いることでNIRSで測定した脳血流量で微触感錯覚を評価できると期待される。

参考文献

- 1) “URCFクロスモーダル設計調査分科会について”，<http://crossmodal-design.tumblr.com/about>.
- 2) 飯野 瞳他：“シースルー型HMDを用いた微触感錯覚の呈示と評価”，日本バーチャルリアリティ学会論文誌，Vol. 18, No. 2, pp. 151-159, 2013.
- 3) 戸田 浩他：“最新ウェーブレット実践講座 入門と応用 信号処理の基礎から最新理論まで”，SBクリエイティブ株式会社，pp. 94-102, 2005.
- 4) 柳沢 一機他：“機能的近赤外線分光装置(fNIRS)を用いた高次脳機能計測とその評価”，ヒューマンインタフェース学会誌，Vol. 11, No. 2, pp. 183-191, 2009.
- 5) Tsuzuki D et al: “Virtual spatial registration of stand-alone fNIRS data to MNI space”，Neuroimage, Vol. 34, No. 4, pp. 1506-1518, 2007.
- 6) Rorden C et al: “Stereotaxic display of brain lesions”，Behav, Neurol, Vol. 12, pp. 191-200, 2000.