H2

統合解析パッケージ／可視化ツール

作業中の心理状態の評価

浜松医科大学 光尖端医学教育研究センター
イノベーション光医学研究室　大星有美、福司康子、田村和輝、山本清二

特許：特願 2021-035752,作業時心理状態評価方法及び装置、並びに作業自体の楽しさの評価方法及び装置

ここに注目!!　～光を用いて簡便に感性を計測　作業中の楽しさを可視化～

前頭部の脳活動を近赤外線分光法（NIRS）で計測し、作業時の心理状態（楽しさ等）を測定する。NIRS の簡便さを活かし、特殊な制限を加えることなく自然に近い状態で行う作業中の心理状態や作業自体の楽しさを客観的に評価可能。

[用途] 作業やリハビリ負荷の定量的評価、商品およびその販売戦略の客観的評価　など

図 1：NIRS 計測の様子

脳の活動は fMRI、PET、脳波計、NIRS などを用いて計測することができ、これらの装置を使って“感性”をリアルタイムに計測する技術が開発されています。それぞれの装置には利点と欠点があります。fMRI は高い空間分解能で脳機能を三次元的に計測することのできる脳機能研究の標準的なツールですが、装置が巨大で強い磁場が発生します。また、PET は神経活動に伴う血流の変化を高感度に検出可能ですが，装置が巨大であることに加えて放射性薬剤を注射する必要があります。つまり作業に制限が加わり、自然な状態での感性を計測することはできません。脳波は fMRI と PET に比べて簡単に測れる装置も登場していますが、電気ノイズに弱いため測定を行える環境には制限があります。

NIRS は操作が簡便で非侵襲であり、被験者を拘束したり体位を制限したりする必要がなく、日常生活に近い状態で作業中の脳機能が測定できる利点があります。また電気的ノイズに強い特徴を持つため、最近では携帯型の装置も開発されています。浜松医科大学では光を用いた医療技術の研究開発を推進しており、NIRS を用いて非侵襲的に筋肉や脳の血流を測るという技術を発展させて、脳活動を計測して感性を可視化する装置・システムの研究を進めています。

■研究の前提となる知見

近赤外線は光の一種ですが、生体内での吸収率が少なく骨や皮膚をある程度通過するため生体内部の計測に用いることができます。近赤外分光法（NIRS : Near Infrared Spectroscopy）とは、波長 700～900 nm の近赤外線を身体表面から体内に向けて照射し、透過し反射してきた光を検出・解析することで血流量や血液中のヘモグロビンを測定する技術です。酸素と結合したオキシヘモグロビンと、酸素を手放したデオキシヘモグロビンの吸光特性の違いを利用することで組織酸素飽和度の測定が可能で、既に医療や健康管理に活用されています。

NIRS には代表的な計測方法が二つあります。（図 2）連続光（Continuous Wave: CW）計測は、入射光に対して検出光の強度を計測する単純な方式なのでウエアラブルな装置も開発され市販されています。一定の近赤外光を照射し続ける方式であるため、皮下の浅いところを通って戻ってきた光を多く検出する特徴をもつことから、感性計測のために頭蓋骨の内にある脳の血流を測定するのに最適とは言えません。一方で時間分解（Time resolved spectroscopy: TRS）計測ではナノ秒以下の極めて短時間だけ近赤外光を照射する仕組みで、検出される光強度と時間的な広がりを取得できる特徴があり、CW 法よりも深い位置かつ局所的な位置の血流情報を計測することができます。

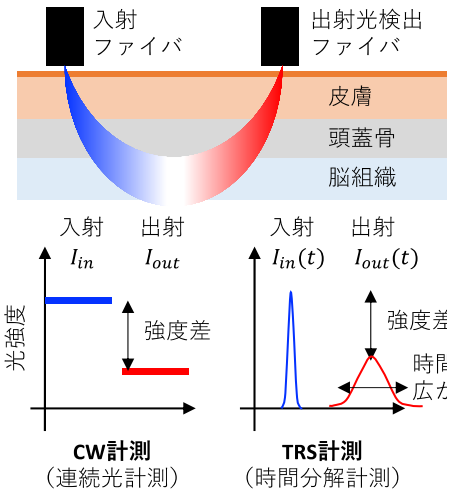

図 2: NIRS の計測方式の比較

■感性計測の実験デザインと結果

fMRI を使った事前実験で、感性との関係が知られている大脳の前頭極（頭部の前方、額の下にある脳）を計測しました。この脳部位の働きはまだ詳しく解明されていませんが、次のような実験で血流量変化の差を確認し、“感性計測のための窓”としての役割が示唆されました。事前に fMRI で確認した前頭極の活動部位は皮膚から 2cm 程度の深さにあり、この位置の活動を取得できるように 4 チャネルの TRS 計測システムを開発しました。（図 3）TRS 計測システムと額に装着したプローブを光ファイバーで繋ぎます。

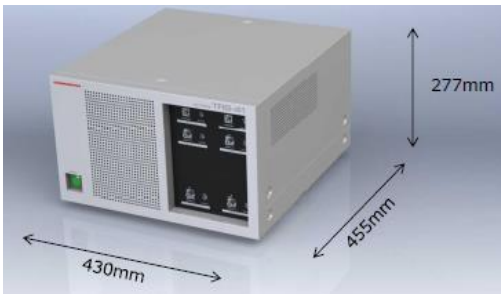

図 3: 計測装置の外観

《実験 1;感情変化と前頭極》 被験者に対して画像を提示し、ポジティブ（快）・ニュートラル・ネガティブ（不快）の感情状態を想像してもらいます（図 4）。画像の例を挙げると、手と手が触れている画像を提示して「提案を快諾してもらった（ポジティブ）」「偶然に触れた（ニュートラル）」「提案を拒否された（ネガティブ）」という場面を想像してもらいます。画像提示前から

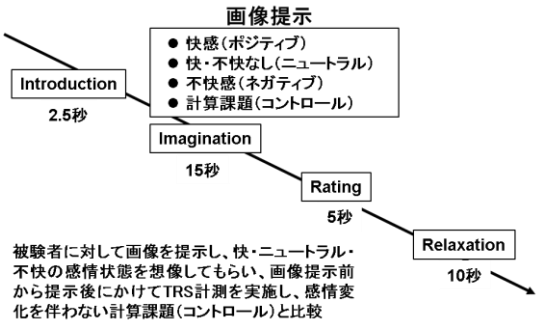

図4 NIRSによる前頭極活動計測

提示後にかけて TRS 計測を実施し、感情変化を伴わない計算課題（コントロール）と比較しました。35 人の被験者を対象に実験を行ったところ、感情の変化を伴う想像をしている時に、前頭極の血流が増加することがわかりました。

《実験 2：創造的作業と前頭極》ヒトは単純作業に比して創作作業を行う時のほうが意欲的に取り組む傾向がありますが、創作活動時と単純作業時の脳血流変化の差異は明らかではありません。そこで、楽しみを喚起する創作作業（感情の変化を伴う作業）を行うことによって前頭極の脳活動が高まるという仮説を検証するために、ねじを用いた玩具「ねじブロック（橋本螺子㈱ 浜松市）」を用いて課題（イヌ）（図５）を作る創造作業と、ねじの留め外しを繰り返す単純作業における作業中の前頭極脳血流を TRS システムにて計測し比較しました。

図5 ねじブロック
（橋本螺子㈱ 浜松市）

23 人の実験の結果、創造作業では血流が増加し、単純作業では横ばいかやや減少ぎみになるという結果が得られました（図６）。実験後に実施した主観評価(Visual Analog Scale: VAS)と脳血流を比較すると、楽しさや覚醒度などのポジティブな指標と脳血流には関係があることがわかりました。（図７）

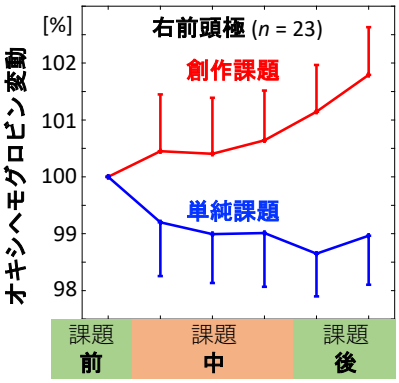

図６：脳血流変化

これらの実験から、NIRS 特に TRS 法を用いることで、作業時の心理状態（楽しさ、意欲など）の測定をすることで、作業自体の楽しさの客観評価が可能になることが示唆されました。

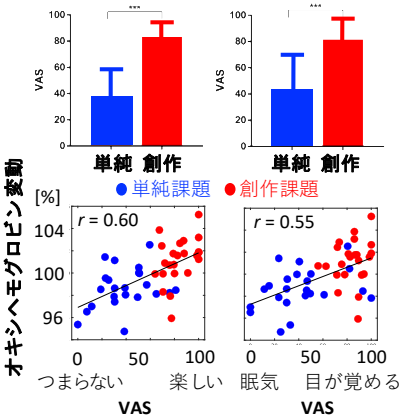

図 7: 実験の感想と血流の関係

■研究の今後

NIRS を用いて血流を測るアイデアはすでに様々な試みがなされていますが、感情に伴う脳活動を測定するのは新しい挑戦です。前頭極は比較的に測定しやすい額の直下に突き出た位置にあり、NIRS で測るのに最も適した部位だと言えます。

今後、前頭極の働きを解明する研究と、TRS 法による脳血流測定の技術開発を並行して進展させていきたいと考えています。

本研究ではこれまでのところ、倫理面を考慮して強いネガティブ感情を抱く実験は行っていません。脳血流は感情が動く時に増加すると考えられるため、血流増加＝ポジティブ感情とは限りませんが、感情の種類は表情の解析などの技術を併用し NIRS で感情の動く大きさを測定することで、細やかな評価・可視化が可能だと考えています。

■社会実装に向けて

実験２の結果で示されたように、作業中の楽しさや覚醒度を血流変化量で数値化することができます。ヘアバンド型やメガネ型のウエアラブル装置が開発されれば、より多様な環境での測定が可能となりますが、現状の装置でも大きな移動を必要としない作業であれば被験者の動きや思考を妨げることなく測定することが可能です。

統合解析パッケージには脳活動を測定・可視化するツールがいくつかありますが、光を用いる NIRS だからこそ測定可能な環境も多いと考えています。

●リハビリテーションで

高齢者、特に認知症を抱える人の作業療法は意思疎通が難しく、意欲的に取り組むことができるリハビリプログラムを見つけるのが難しいことがあります。本人が好き嫌いを表明しない（できない）場合でも、脳血流を測ることでその人に適したプログラムを客観的に選択することができるようになります。

気軽に繰り返し測ることができるため、その日の気分にあわせたプログラム選択にも役立つでしょう。

●小児科・精神科などの医療で

言葉で好き嫌いや感情を表現できない乳幼児の脳血流を測定することで、医療、成育などに役立てることができます。また、精神科領域でも診断や治療への応用が期待できます。

●製造業の現場で

楽しく意欲的に取り組める作業手順や作業環境、得意な作業、好きな作業の個人差を測定して、適材適所で客観的な人員配置に役立つでしょう。

また、ウエアラブル装置による常時測定が可能になれば、意欲や覚醒度の低下を察知して、事故の回避、適切な作業スケジュールづくりに役立つでしょう。

技術訓練などにおいても、意欲を持続しやすいメニューの開発に活用できます。

●商品・サービスの開発に

新しい商品やサービスを消費者モニターに評価してもらう際、主観評価とともに NIRS で脳血流を測定することで、感情の変化の大きさを数値化・可視化することができます。総合評価だけではなく、商品やサービスのどの部分に興味を感じたのかも可視化することが可能です。

●娯楽やエンタメの評価に

測定装置を装着したまま映画を視聴したり、イベントに参加したり、テーマパークのアトラクションを体験したりすることで、どの場面で感情が大きく変化したのか経時的に評価することが可能となります。

リハビリテーションでの利用

（イメージ写真）

小児科等での利用（イメージ写真）

製造業の現場での利用（イメージ写真）

商品・サービス開発における利用

（イメージ写真）