

卒業論文要旨

触圧覚に伴う脳活動の計測～介護ロボットの安全性向上を目指して～

知能ロボティクス研究室 1170118 橋本 祥良

1. 緒言

日本の高齢化社会が進む今日、様々な介護ロボットが研究、開発されている。介護ロボットは、介護支援を行う際に要介護者と接触することがあり、接触する力が強すぎると要介護者に痛みを与える恐れがある。安全上問題のない大きさの力であったとしても、人によっては痛みを感じる可能性がある。もし、ロボットが要介護者の感覚を認識することができれば、痛みを与えることなく介護することができる。したがって本研究では、痛みを感じる時の脳活動を NIRS により計測し、特徴を解析することで、痛みのサインの抽出法の開発を行う。具体的には被験者の脚部に可変な任意な大きさの力を加えたときの脳活動の情報を測定し、データを解析し、痛みを感じる直前といえる状態の認識法を開発する。さらに、脳活動を機能的近赤外線分光法 (fNIRS) の認識結果を基にブレインコンピュータインターフェース (BCI) によってロボットの制御を行うことを目指している。

2. 近赤外線分光法(NIRS)

今回の実験では脳活動を測定するにあたり NIRS(近赤外線分光法, Near fra-Red Spectoroscopy)装置を使用している。近赤外線は 700nm～ 1000nm の波長であり、可視光である 350～ 700nm とは異なっており生体透過性が高い。この高い生体透過性を利用し、脳血流中のヘモグロビン(Hb)濃度変化を計測することができる。Hb 濃度変化は吸光物質を含む溶液に光を吸収したときの光の減衰と吸光物質の濃度関係を表す Lambert-beer の法則により算出することができる。ヘモグロビンには酸素化 Hb と脱酸素化 Hb があるが、それぞれで吸光スペクトルが異なるため、その光強度変化を計測することで酸素化 Hb, 脱酸素化 Hb を計測することができる。(2). NIRS は近赤外線の透過光の強さと光路長、先ほどの BOLD 効果により Hb 濃度変化を計測する。本研究での脳活動計測には、日立メディコ製の光トポグラフィ装置 ETG-7100 (図 1) を用いた。本装置では 0.1[s]毎に計測される。



Fig.1 Optical topography equipment(ETG-7100)

3. 触圧覚に伴う脳活動の計測実験

本実験では被験者は 20 代の成人男性 2 名、測定部位を右上腿部の内、鼠径部から膝頭部までの中間点とし、2 回に分けて実験を行った。実験タスクとしては加負荷前安静 30[s]

の後に加負荷時間 10[s], 加負荷後安静 30[s]の合計 70[s]を 1 セットとし、被験者それぞれに計 3 セットの試験を 2 回ずつ行った。加負荷時間では 0kg から毎秒 0.5kg ずつ増加させて行き、5kg までの負荷を行った。その際、被験者が痛みを訴えたときの力の大きさの記録と fNIRS を用いた脳活動の様子を測定を行った。また、加負荷器具は被験者の測定部位に軽く触れる程度に乗せ、そのときの値が 0kg になるようにした。

4. 測定機器

本実験では被験者に与えた力の大きさを測定することができるように図 4.1 に示すバネ式手秤を用いた。しかし本実験では被験部に鉛筆を押し付けたときの力の大きさを測定しなかったため、このばねばかりに適当な大きさに切ったプラスチック板をばねばかりの可動な筒に固定し、そのプラスチック板に邪魔にならない大きさとなるように切り落とした鉛筆を固定した。このとき被験者と接する面が鉛筆の裏側(丸みを帯びている面)となるようにした。改良を施したばねばかり(図 4.2)を今後、加負荷機器と呼称する。また、今回の実験では三菱鉛筆株式会社製のハイユニの鉛筆を用いた。また、鉛筆は 1 辺が約 4.04mm の正 6 角形である。この正 6 角形の面積は約 42.4mm² である。被験者と接する面は丸みを帯びているため面積を便宜上 50mm² とする。



Fig.2 measuring equipment

5. 脳活動の解析方法

実験により得られた脳活動の様子を、より観察しやすくするためにローパスフィルタを掛け合わせた。ローパスフィルタによる結果を R, 酸素化ヘモグロビン変化量を OH, 時間を t とすると計算方法は、計算方法は、

$$R_t = 0.9 \times OH_{t-1} + 0.1 \times OH_t$$

とした。その後、データ開始点を 0 点に合わせた。

次に、脳活動の計測結果のうち加負荷中の脳活動の様子を見やすくするために標準得点(Z-score)の算出を行った。酸素化 Hb 変化量を OH, 初期安静時の酸素化 Hb 変化量の平均値を μ , 初期安静時の酸素化 Hb 変化量の標準偏差を σ とし、

$$Z\text{-score} = \frac{OH_t - \mu}{\sigma}$$

と計算した。また、標準偏差 σ は

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{t} \sum_{i=1}^t (OH_i - \mu)^2}$$

より求まる。その後、時間に対応する加負荷量へと置き換えた。

6. 実験結果と解析結果

被験者が痛みを訴えたときの加負荷量を図3に示す。

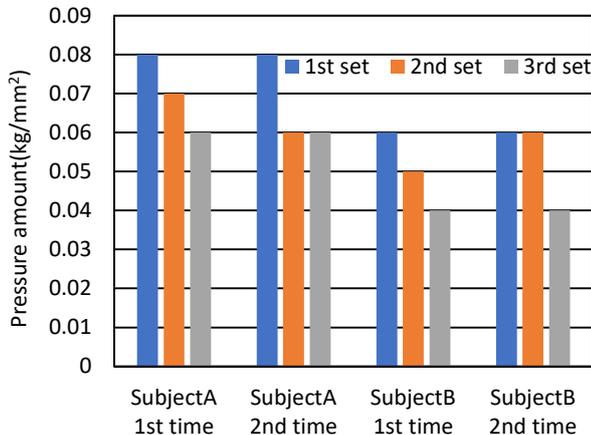


Fig.3 The amount of pressure in which the subject complained of pain

この結果から被験者によって痛みを訴える加負荷量に違いはあるが、回数を重ねるごとに痛みへの耐性が減っていることが分かる。また、被験者それぞれの1回目と2回目の様子から基本的に耐えうる加負荷量は各々ある程度は定まっていることが分かる。

ここでは、脳活動の様子のうち被験者 A の 1 回目の実験における 1 セット目のデータを例として図 4 に示す。

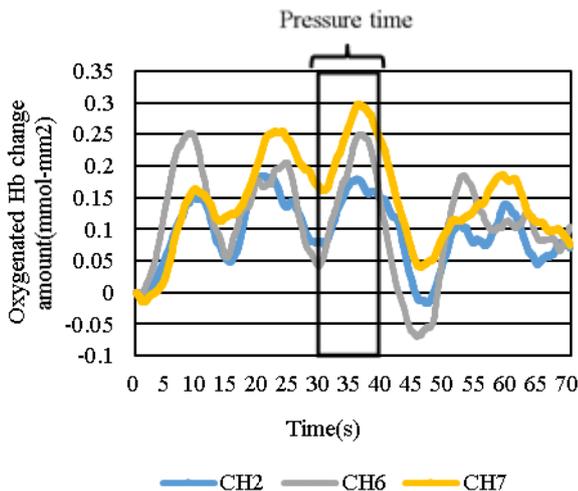


Fig.4 Subject A's brain activity state of the first set of the first time

この結果から、加負荷時間中にほとんどの場合酸素化 Hb 変化量が増加していることが分かる。よって、右上腿部に負荷を与えた場合、体性感覚野のペンフィールドのホームクルスで右足が示される部位付近の脳が活性化していると考えられる。

次に、加負荷時間中の酸素化 Hb 変化量の Z-score を先ほ

どと同様に被験者 A の 1 回目の実験における 1 セット目のデータを例として図 5 に示す。この結果から、被験者が痛みを訴える前に酸素化 Hb 変化量の Zscore はピークを迎えていることが分かる。そのため、被験者が痛みを訴えるかどうか判断するのに酸素化 Hb 変化量の Z-score がひとつの判断する材料になりえると考えられる。

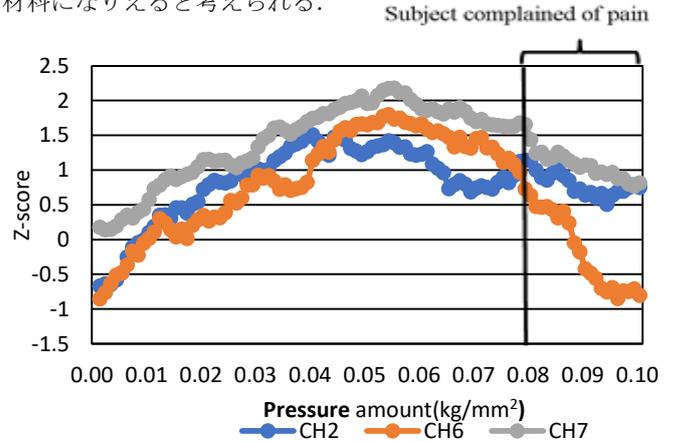


Fig.5 Subject A's brain activity state of the first set of the first time

7. 結言

本研究では、光トポグラフィ装置 (fNIRS 装置) を用いて痛みを与えられることによる被験者の脳活動に及ぼす影響の抽出と、被験者が痛みを訴える前の特徴を抽出するためにばねばかりを用いて被験者に痛みを与えることで脳活動の観察を行った。

第 5 章において被験者が痛みを訴える加負荷量と安静時間も含んだ全体の脳活動の様子、加負荷時間に着目した脳活動の様子を観察を行った。被験者が痛みを訴える加負荷量は被験者によって異なるものの、実験を繰り返すことで被験者が耐えることの出来る加負荷量は減少してしまうことが分かった。脳活動の様子においては、痛みを感じることで体性感覚野の体部位の該当する箇所が脳活動が活発になることが分かった。しかし安静時と比較して活発になったか判別しづらいものもあるため安静時と加負荷時とを区別する条件を見出す必要がある。また、加負荷時間中の脳活動の様子は、限られたチャンネルにおいて被験者が痛みを訴える前に酸素化 Hb 変化量の標準得点がピークを迎えることが分かった。

今回はブレインコンピュータインターフェース (BCI) の作成にまでは至ることができなかったが、本実験と実験の結果から、今後解決すべき課題はあるものの、ロボットが要介護者に痛みを与えてしまう前にロボットの制御をすることができる BCI を開発することは可能であるといえる。

今後の課題として、安静時と加負荷時とを区別することの出来る判断材料の発見や、本実験で得られた結果が本当に万人に適用することが出来るのかといった検証、別の体部位への検証を行う必要があると考えられる。

8. 謝辞

本研究は、JSPS 科研費 15H03951 とキャノン財団の助成を受けたことを記し、感謝を申し上げる。

9. 参考文献

(1) 石谷薫, NIRS - 基礎と臨床 -, 新興医学出版社, 20