

セラピーロボットのストレス軽減効果の定量的な評価

— 前頭前野活動計測の有用性の検討 —

日大生産工(院) ○井上 朋紀 日大生産工 柳澤 一機

1. 緒言

近年、ストレス問題の解決策としてセラピーロボットの需要が高まっている。セラピーロボットのストレス軽減効果について検証した論文は多くあるが、質問紙による主観的評価のみで定量性に問題があり、生体指標を用いて検証していても統一的な評価方法は確立されていない。生体指標の中でもストレスの影響を最初に受け、強く反映すると考えられる脳活動に注目することで定量的に評価できる可能性がある。

本研究は、セラピーロボットのストレス軽減効果を定量的に評価可能な指標として前頭前野活動に注目し、検討を行う。2か月間セラピーロボットと触れ合う実験を行い、前頭前野活動計測に加え、心臓自律神経活動計測を行い、各指標間の相関について分析を行う。セラピーロボットのストレス軽減効果を評価する上での前頭前野活動計測の有用性を検証する。

2. ストレス評価指標

2.1 脳活動計測による客観的評価

脳活動は生体指標によるストレス評価の中でも、ストレスの影響を最初に受け、強く反映する。脳が影響を受けることで自律神経活動やホルモン分泌に影響を与える。そういった脳に着目した研究の中でも近赤外分光法(NIRS: Near-infrared spectroscopy)を用いた研究が注目されている。

2.1.1 NIRSの計測原理

NIRSは、生体透過性が高い近赤外領域光を用いてヘモグロビン(Hb)の濃度変化から脳活動を計測する。NIRSの計測手法にMBL(modified Beer-Lambert)則とSRS(Spatially Resolved Spectroscopy)がある。MBL則は近赤外光の受光量よりHbの濃度変化を計測する手法である。SRSは1つの送光部に対し、同一方向に隣接した2か所の受光部を配置し、この2か所の受光部の間隔に対する減光量より酸素飽和度(StO_2)の算出を行う計測手法である。

MBL則で計測した酸素化ヘモグロビン(oxy-Hb)は微小な変化を計測できるが、額の皮膚血流の影響を受けやすく、相対値であるという問題点がある¹⁾。それに対し、SRSで計測した StO_2 は微小な変化を計測しづらいが、深い部分の情報をより選択的に得られる¹⁾。

2.1.2 NIRSによるストレス評価

IshikawaらはNIRSを用いた安静時の脳活動計測から、前頭前野の左右活動のバランスがストレス反応を制御しており、高ストレス時は右側の脳活動が優位になり、低ストレス時は左側の脳活動が優位になることを報告している¹⁾。MBL則によって測定した安静時の前頭前野のoxy-Hbの左右差からLIR(Laterality Index at Rest)を求め、ストレス状態を評価した。

山岸らはMBL則の問題点から、SRSによって測定した安静時の前頭前野の StO_2 の左右差からストレス状態を定量的に評価できることを示した²⁾。LIRを基に前頭前野における StO_2 の左右差 LIR_{StO_2} を求め、有効性を報告している。

LIR, LIR_{StO_2} 共に値が減少するほどストレス状態が改善されたことを意味する。

2.2 心臓自律神経活動計測による客観的評価

一般的に、心臓自律神経活動計測は拍動間隔(RRI: R-R interval)を計測し、周波数領域解析や時間領域解析によって、ストレス状態を評価できる。評価指標にLF/HF(Low Frequency / High Frequency), RMSSD(Root Mean Square of Successive Differences of RR intervals)がある。

2.2.1 交感神経活動によるストレス評価

LF/HFは周波数領域解析による交感神経活動の指標である。LF/HFはRRIを周波数解析して得られる低周波パワー値(LF)と高周波パワー値(HF)の比率によりストレス状態を評価できる。LF/HFの値が低いほど低ストレス状態であることを意味する。

2.3.2 副交感神経活動によるストレス評価

RMSSDは時間領域解析による副交感神経活動の指標であり、隣接するRRIの差の二乗平均平方根から求められる。RMSSDの値が高いほど低ストレス状態であることを意味する。

3. 実験概要

本実験は20代前半の男性18名を対象とし、日本大学生産工学部倫理委員会の承認(承認番号: S2023-002)を得て実施した。3グループ6名ずつに分け、それぞれ対象としたセラピーロボットであるNDソフトウェア株式会社のPARO、ユカイ工学株式会社のQoobo, Groove X 株式会社のLOVOTと触れ合ってもらった。

Quantitative evaluation of stress reduction effectiveness of therapy robots

— Investigation of the usefulness of prefrontal cortex activity measurement —

Tomoki INOUE and Kazuki YANAGISAWA

3.1 実験手順

実験期間は2か月とし、実験開始日にNIRSを用いた前頭前野活動計測と心臓自律神経活動計測を実施した。前頭前野活動と心臓自律神経活動の計測は並行して行い、座位姿勢の開眼安静状態で3分間とした。2か月後の実験終了日に実験開始日と同様の手順で計測した。参加者には期間中、週に1回セラピーロボットとの触れ合い時間を15分設けた。

3.2 計測機器

前頭前野活動計測は株式会社アステム製のウェアラブルNIRS Hb132(サンプリング間隔:0.5s, チャンネル数:5ch)を用い、計測部位は前頭前野の左側(Fp1付近)にあたる1chと右側(Fp2付近)にあたる3chとした。心臓自律神経活動計測はユニオンツール株式会社のmyBeat WHS-1を用いた。

4. 実験結果と考察

4.1 実験結果

計測不良がみられた参加者5名を除外し、計13名のデータを対象に解析を行った。また、3種類のセラピーロボットの違いは考慮せず解析を行った。LIRとLIRStO₂、LF/HF、RMSSDの実験終了日の値と実験開始日の値の差分を求め、相関を分析した。

結果として、①LIRStO₂とLF/HFに正の相関($r=0.606$, $p=0.028$), ②LIRStO₂とRMSSDに負の相関($r=-0.675$, $p=0.011$), ③LF/HFとRMSSDに負の相関($r=-0.471$, $p=0.105$)が確認できた³⁾。

4.2 考察

セラピーロボットとの触れ合いにおいて、前頭前野活動のストレス状態が改善された場合に交感神経が抑制、副交感神経が亢進したことで、心臓自律神経活動にも影響したことがわかった。

Tanidaらは前頭前野のoxy-Hbの左右差と心拍数の関係の評価した⁴⁾。その結果、前頭前野の活動左右差と心拍変動には強い相関があることを報告している。右前頭前野の活動が前頭前野皮質および皮質下組織を構成している神経ネットワークを経由し、交感神経を亢進するか、あるいは副交感神経を抑制することで、心拍変動を調整した可能性を指摘した。このように、前頭前野のoxy-Hbの左右差の有用性が報告されているが、MBL則で計測したoxy-Hbは額の皮膚血流の影響を受けやすく、相対値であるという問題点があり、SRSで計測したStO₂は微小な変化を計測しづらいが、皮膚血流の影響を受けにくく、絶対値である。

また、今回使用したLOVOTのストレス軽減効果を検証している研究では唾液中コルチゾール濃度と尿中オキシトシン濃度を検証したものがある⁵⁾。その結果、コルチゾール濃度の減少とオキシトシンの定常分泌の増加を報告している。コルチゾールはストレスにより視床下部の副腎皮質刺激ホルモン放出ホルモンおよび

下垂体の副腎皮質刺激ホルモンによって分泌の刺激を受けている。オキシトシンは下垂体後葉から末梢に放出され、ストレス因子に対する視床下部-下垂体-副腎反応を抑制する能力に関連して、副交感神経活動を調整することも可能である。このように、ホルモンによる身体影響を計測しているが、リアルタイムでの計測には向いていない。NIRSの計測機器はウェアラブル化が進んでおり、リアルタイムで計測が可能である。

以上のことより、セラピーロボットと触れ合った際のストレス軽減効果を評価する指標として、前頭前野活動を評価することで定量的に評価できる可能性がある。特に、LIRStO₂の有用性が高いと考えられる。

5. 結言

本研究は、セラピーロボットのストレス軽減効果を定量的に評価可能な指標として前頭前野活動に注目し、2か月間セラピーロボットと触れ合う実験を行い、前頭前野活動計測に加え、心臓自律神経活動計測を行い、各指標間の相関について分析を行った。

前頭前野活動と心臓自律神経活動における交感神経、副交感神経との間には相関による関係性があることから、セラピーロボットと触れ合った際のストレス軽減効果を評価する指標として、前頭前野の活動左右差から定量的に評価できる可能性を示した。特に、LIRStO₂の有用性を示した。

今後の研究課題として、結果に用いた13名では人数が限定的であると考えられる。そこで、実験参加者を増やし、限定的な結果を改善していきたい。また、3種のセラピーロボットの比較も行う。

参考文献

- 1) 酒谷薫, 岡田英史, 他, NIRS-基礎と臨床-, 新興医学出版社, (2012).
- 2) 山岸恒平, 柳澤一機, 他, ウェアラブルNIRSを用いたオフィスワーカーを対象としたストレス評価に関する研究, 日本大学生産工学部第53回学術講演会概要, Vol.53, (2020), pp.449-450.
- 3) 井上朋紀, 柳澤一機, セラピーロボットの定量的なストレス軽減効果の評価に関する基礎的検討, ヒューマンインターフェースシンポジウム2024論文集, (2024), pp.693-696.
- 4) M.Tanida., K.Tagai., et al., Relation between asymmetry of prefrontal cortex activities and the autonomic nervous system during a mental arithmetic task, near infrared spectroscopy study, Neuroscience Letters, Vol.369, Issue1, (2004), pp.69-74.
- 5) S.Imamura., Y.Gozu., et al., Higher oxytocin concentrations occur in subjects who build affiliative relationships with companion robots, iScience, Vol.26, Issue12, 108562, (2023), pp.1-14.