



2023年5月22日

委託研究報告

健康器具ソーラーポール®を使った同側動作が脳の活動性に与える影響
—前頭極皮質の活動性について—

成田紀之^{1)*}, 石井智浩²⁾, 下坂典立³⁾, 多田充裕⁴⁾

1) 日本大学松戸歯学部口腔科学研究所, 2) 日本大学松戸歯学部有床義歯補綴学講座,
3) 歯科麻酔学講座, 4) 歯科総合診療学講座

はじめに

株式会社YAK-OHならびに一般社団法人日本ソーラーポール協会では、認知動作型トレーニング理論（小林寛道東京大学名誉教授開発）に基づいて開発しました健康器具ソーラーポールZEROを2022年3月に発売しました。

ソーラーポールを用いた体操は、認知動作型トレーニングの一つの運動方法として2022年7月に加えて頂きました。詳細は<https://totubokobayashi.grupo.jp/free3953128>をご参照ください。

今回、ソーラーポールを使った運動が、認知動作型トレーニング同様に脳の活動性に与える影響について、日本大学松戸歯学部に委託しその結果が出ましたので以下報告紹介させていただきます。

概要

健常の若年成人を対象として、ソーラーポール®を使った同側動作による前頭極皮質の活動性を評価した。ソーラーポール®を使った手足の同側動作には、弱い膝上げの低負荷と強い膝上げの高負荷を用いた。また、対照として運動のない課題（安静）も行わせた。安静と比較して、低負荷と高負荷での同側動作は、いずれも両側の前頭極皮質に有意な活動性を、その動作中に示した。さらに、低負荷に比べて、高負荷は両側の前頭極皮質に有意な活動性を、その動作中ならびに動作終了後に示した。本研究結果を、これまでの身体運動による前頭前皮質の活動性と記憶力や思考との関連、ならびに前頭極皮質の感情を含めた多様な認知機能とのかかわりに照らせば、ソーラーポール®を使った同側動作の仕方（弱い膝上げと強い膝上げ）による影響が高次脳機能に推察される。

緒言

運動学習は認知機能の充進に繋がり、直接的および間接的に記憶力と思考力を高める¹⁾。

そして、運動学習はインスリン抵抗性や炎症の低下などの生理学的変化をとともに、脳内の新しい血管の成長、さらには新しい脳細胞の豊富さ、生存、全体的な健康に影響を与える成長因子の産生を促進することで体に直接作用するといわれている¹⁾。

近年、身体運動にともなう認知機能の向上と脳活動性との関連が明らかとなりつつある²⁾。このことは「認知動作型トレーニング」³⁾にもとづいて設計された健康器具のソーラーポール®の同側動作にも当てはまると考えている。そこで、本研究では、健常の若年成人を対象として、ソーラーポール®の身体動作による前頭前皮質の活動性を評価することとした。もし、本研究にソーラーポール®を用いた身体運動（同側運動）の仕方によって前頭前皮質の活動性への影響が明らかになれば、その結果は本健康器具ソーラーポール®を用いた適切な動作法の確立に繋がると考えている。

本研究の脳機能計測には fNIRS（機能的近赤外線分光法）を用いた。これまでに fNIRS は身体運動と脳活動との関連に関する多くの検討に応用されている。本研究では脳機能計測の領域として前頭前野、とくに多様な高次脳機能がかかわる前頭極皮質の活動性をもとに健康器具ソーラーポール®を用いた同側動作の評価を行った。

研究方法

研究対象者は、本研究目的と意義を十分に説明し、研究協力への同意が得られた健常の若年成人 13 名である（表）（日本大学松戸歯学部倫理委員会承認 EC22-027）。fNIRS 計測に先立って、研究対象者は椅子に座り、前額部の清拭を受けた。その後、脳血流計測機器（Spectratech OEG-16, Spectratech Inc.）のプローブを脳波 10/20 法での FP1 と FP2 を基準として前額部（前頭極皮質相当部位）に装着した（A）。さらに、研究対象者は、足に装着したソーラーポール®を手を持って起立し、手足の同側動作を行うこととなる（B）。ソーラーポール®を用いた手足の同側動作には、弱い膝上げの低負荷（大腿前面が床 45 度程度の挙上）と強い膝上げの高負荷（大腿前面が床とが平行で膝が 90 度以上となるまでの挙上）の 2 種類を適用した（C）。それぞれの動作課題では 40 秒の安静を挟んでの 20 秒間行われ、1 課題中に低負荷あるいは高負荷の動作がそれぞれ 5 回繰り返される（D）。このときの動作リズムは低負荷、高負荷のいずれも 0.7Hz とした。さらに、運動のない課題（安静）も併せて行わせ、動作課題に対するベースラインとした。また、これら 3 種類の課題は順序不同に施行され、課題間の休息は 3 分間とした。

3 課題による脳活動計測が終了した後は、健康関連 QOL ならびに不安・抑うつと認知能に関する評価を行った。健康関連 QOL ならびに認知能と心理状態からの前頭前皮質活動性への影響を考慮することは有用で、健康関連 QOL には SF36: MOS Short-Form 36-Item Health Survey, 認知能評価スケールには改訂長谷川式認知評価スケール, 不安とうつ評価スケールには HAD: Hospital Anxiety and Depression Scale を用いた(表)。

サンプルサイズは、G*Power 3 ソフトウェアパッケージ(ドイツのデュッセルドルフ大学からダウンロードした非商用プログラム)⁴⁾を使用した。有意水準は 0.05, 統計的検出力 0.8,

グループ数は3（安静，低負荷，高負荷），計測回数 91 回（total 60s，サンプリング間隔：0.65535 s），効果サイズ 0.25（効果量）のパラメータを設定した。得られた必要な最小サンプルサイズは9であった。

脳血流(oxy-Hb)の波形処理について，線形フィッティング アルゴリズム（直線補間）によるベースライン補正とともに ウィンドウ幅 5 秒の移動平均を応用して，身体動作的アーチファクトなどの生理学的ノイズを除去した。さらに，脳血流(oxy-Hb)データは，5 回繰り返されるタスクをそれぞれ pre-task (20s), task (20s), post-task (20s)の計 60s 間を切り出し，アーチファクトのない脳血流データ(oxy-Hb)を加算平均し，個々の被験者のタスクデータとした。

統計解析には，3 課題（安静，低負荷，高負荷）と計測時間（60 秒のサンプリング間隔：0.65535 秒）の 2 因子であることから，データの正規性が確保されているときには 2 元配置反復測定分散分析と事後検定のボンフェローニの補正 t 検定を行った。一方，データの正規性が確保されないときにはノンパラメトリック 2 元配置反復測定分散分析を行った⁵⁾。また，検定結果の効果量 Eta squared (η^2)を合わせて算出した。 η^2 の目安は 0.01: small; 0.06: medium; 0.14: large である。

結果

前頭極皮質活動性の比較

1. 右前頭極皮質

2 元配置反復測定分散分析において，安静，低負荷，高負荷と時間経過とに有意な交互作用を認めた。(F=13.569, p=<0.001, power=1.000, η^2 =0.26 (効果量大))

1) 安静 vs. 低負荷

低負荷は安静と比較して，動作開始後の 20.8 s~40.3 s ならびに動作終了後の 40.3 s~41.6 s に有意な血流量(oxy-Hb)の増加を示した(E, 左上段)。

2) 安静 vs. 高負荷

高負荷は安静と比較して，動作開始後の 20.15 s~40.3 s ならびに動作終了後の 40.3 s ~59.15 s に有意な血流量(oxy-Hb)の増加を示した(E, 左中段)。

3) 低負荷 vs. 高負荷

高負荷は低負荷と比較して，動作開始後の 25.35 s~40.3 s ならびに動作終了後の 40.3 s~44.2 s と 48.1 s~57.85 s に有意な血流量(oxy-Hb)の増加を示した(E, 左下段)。

2. 左側前頭極皮質

2 元配置反復測定分散分析において，安静，低負荷，高負荷と時間経過とに有意な交互作用を認めた。(F=10.526, p=<0.001, power=1.000, η^2 =0.24 (効果量大))

1) 安静 vs. 低負荷

低負荷は，安静と比較して，動作開始後の 20.15 s~40.3 s ならびに動作終了後の 40.3

s~42.25 s に有意に血流量(oxy-Hb)の増加を示した(E, 右上段)。

2) 安静 vs. 高負荷

高負荷は、安静と比較して、動作開始後の 21.45 s~40.3 s ならびに動作終了後の 40.3s~59.15s に有意な血流量(oxy-Hb)の増加を示した(E, 右中段)。

3) 低負荷 vs. 高負荷

高負荷は、低負荷と比較して、動作開始後の 26.0s~40.3s ならびに動作終了後の 40.3 s~44.85 s と 47.65 s~57.2 s に有意な血流量(oxy-Hb)の増加を示した(E, 右下段)。

考察

健常の若年成人を対象とした本研究結果において、安静と比較したソーラーポール®での同側動作は、低負荷と高負荷のいずれもが両側の前頭極皮質の活動性に有意な増加を、動作中に示した。さらに、高負荷の同側動作は、低負荷の同側動作に比べて、両側の前頭極皮質の活動性に有意な増加を、動作中ならびに動作終了後に示した。

これまでに身体運動とかかわる前頭前皮質活動は報告されている²⁾。さらに、身体運動による記憶力と思考力の向上も考えられる¹⁾。これらのことを本研究結果に照らせば、とくに同側動作の負荷の程度による前頭極皮質の活動性の差異には、ソーラーポール®を使った同側動作の仕方による記憶力と思考力といった認知能への影響が推察される。

さらに、これまで前頭極皮質の背側領域は目標や行動計画を処理する他の前頭前野領域と、内側領域は行動の結果を監視し行動を動機付ける他の脳領域と、腹側領域は刺激、価値、感情に関する情報を処理する領域と、繋がることが報告されている⁶⁾。おそらく、ソーラーポール®の同側動作の負荷の程度による前頭極皮質の活動性の差異には記憶力や思考力の他、多様な高次脳機能への影響も推察される。

今後、さらなる前頭極皮質の活動性と運動認知のかかわりには、高齢者を対象としたリハビリテーションの観点からのアプローチが必要であり、健常の若年成人を対象とした本研究結果は高齢者データのコントロールとして有用となるであろう。

結論

健常の若年成人を対象とした本研究において、ソーラーポール®の同側動作による前頭極皮質活性への影響を検討した。結果として、ソーラーポール®を使った同側動作では、安静に比べて、低負荷と高負荷のいずれもが両側前頭極皮質に有意な活動性を示した。さらに、高負荷の同側動作は、低負荷に比べて、前頭極皮質の活動性に優位性を示した。これら、ソーラーポール®の同側動作の仕方による前頭極皮質の活動性の差異には、かかわる高次脳機能への影響も推察される。

謝辞

本研究は株式会社 YAK-OH からの受託研究(健康器具ソーラーポール®を使った同側動作

が脳の活動性に与える影響)において実施された。

文献

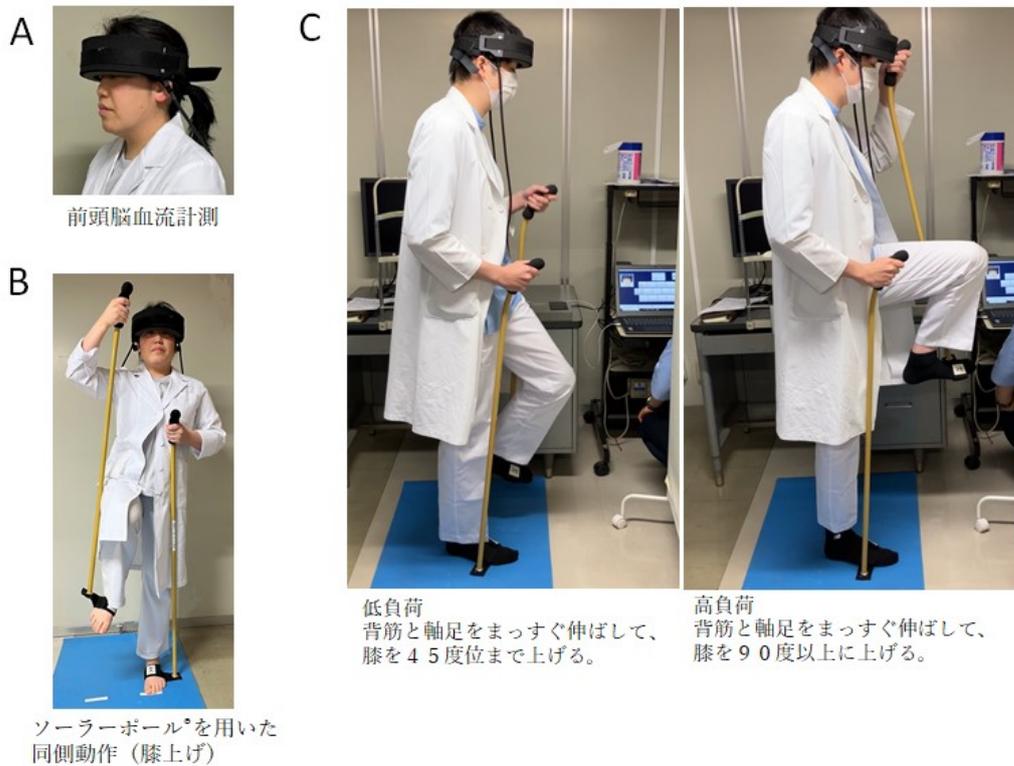
- 1) Boost your thinking skills with exercise. Moderate-intensity exercise can help improve your thinking and memory in just six months, Harv Health Lett. 2014 May;39 (7):3. PMID: 25073188.
- 2) Endo K, Matsukawa K, Liang N, Nakatsuka C, Tsuchimochi H, Okamura H, Hamaoka T, Dynamic exercise improves cognitive function in association with increased prefrontal oxygenation. J Physiol Sci. 2013 Jul; 63(4):287-98. doi: 10.1007/s12576-013-0267-6.
- 3) 小林寛道, 認知動作型トレーニングの定義とソーラーポールを用いた体操, 2020 Jul 10, <https://totubokobayashi.grupo.jp/free3953128>.
- 4) Faul F, Erdfelder E, Lang A-G, Buchner A G, Power 3: a flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. Behav Res Methods 2007 May; 39(2):175–191. doi: 10.3758/bf03193146.
- 5) The Aligned Rank Transform for nonparametric factorial analyses using only ANOVA procedures. / Wobbrock J, Findlater L, Gergle G, and Higgins J. CHI 2011 - 29th Annual CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, Conference Proceedings and Extended Abstracts. Association for Computing Machinery, 2011. p. 143-146 (Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings).
- 6) Orr JM, Smolker HR, Banich MT, Organization of the Human Frontal Pole Revealed by Large-Scale DTI-Based Connectivity: Implications for Control of Behavior. PLoS One. 2015 May 6; 10(5):e0124797. doi: 10.1371/journal.pone.0124797.

[表]

被験者数	13 (男 7, 女 6)
年齢	28.7 (3.0)
SF-36v2 (サマリースコア)	
身体的側面	57.3 (5.8)
精神的側面	56.1 (11.3)
社会的側面	48.8 (9.3)
HADS	
不安	4.8 (4.2)
うつ	4.7 (4.2)
長谷川式認知スケール	29.5 (1.0)
※ (): SD	

被検者構成とその健康関連 QOL, 認知と精神心理の評価

[図と図説]



A 前頭脳血流計測の様相を示す。

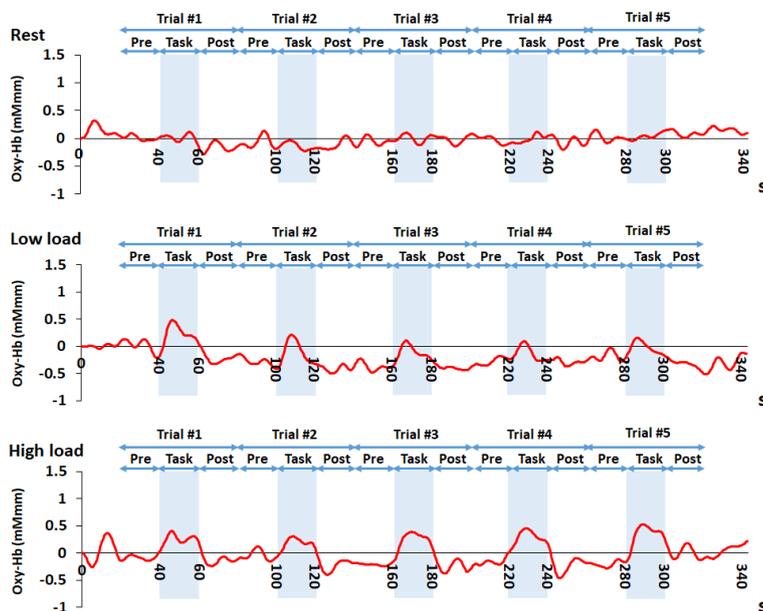
被験者の前頭部には fNIRS 脳血流計測(oxyOHb)のプロープが装着されている。

B 膝上げの同側動作の様相を示す。

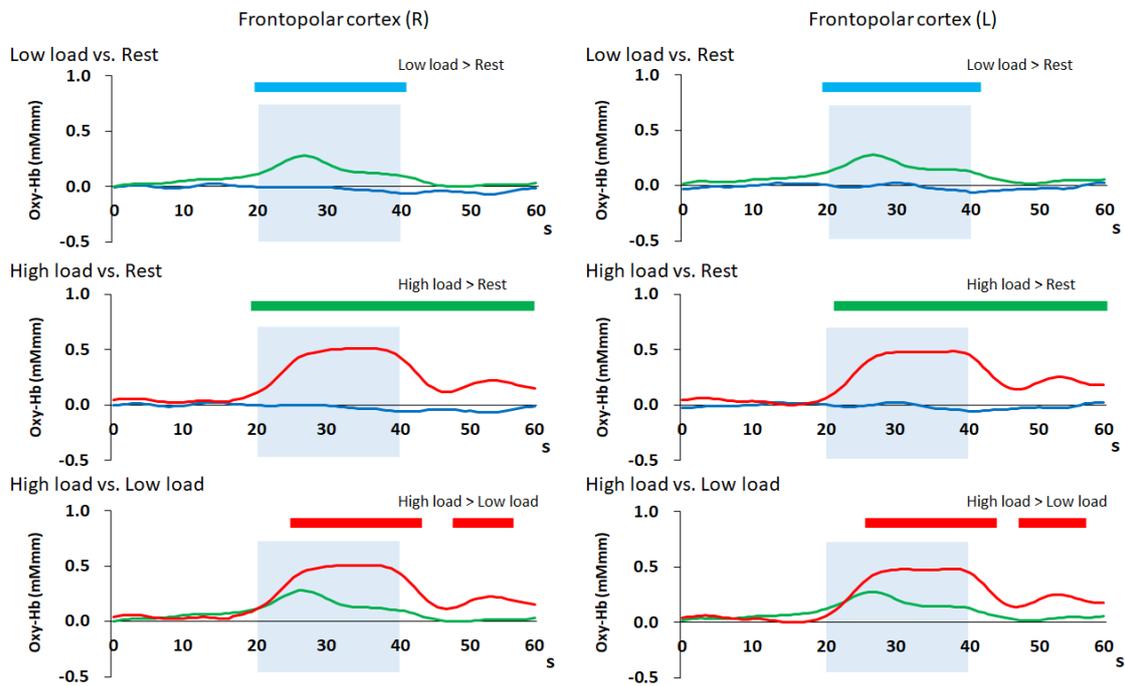
C 低負荷（左）と高負荷（右）の同側動作の様相を示す。

D ソラーポール®を使った同側動作課題時の前頭極皮質の活動性（計測例）を示す。

上段は安静時の、中段は低負荷時の、そして下段には高負荷時の前頭極皮質血流(oxy-Hb)を示している。安静時に比べて、前頭極皮質の活動性はタスクの負荷によって明確になる。そして、前頭極皮質の活動性は低負荷に比べて、高負荷でより明らかであった。Rest: 安静; Low load: 低負荷; High load: 高負荷。



E



右前頭極と左前頭極における安静，低負荷，高負荷での皮質活動性の 3 群比較と検定結果を示す。

上段には安静と低負荷の比較結果を，中段には安静と高負荷の比較結果を，そして下段には低負荷と高負荷の比較結果を示している。安静に比べて，低負荷と高負荷のいずれも有意な前頭極皮質血流(oxy-Hb)の増加をタスク負荷時に認め，さらに高負荷時にはその有意性はタスク終了後も維持された。低負荷と高負荷の比較では，高負荷はタスク中ならびにタスク終了後に有意な前頭極皮質血流(oxy-Hb)を示した。これらの結果から，ソーラーポール®を使った前頭極皮質活動性の向上には，膝を 45 度程度に上げる低負荷に比べて，膝を 90 度以上にまで上げる高負荷がより効果的と考えられた。Frontopolar cortex (R): 右前頭極皮質; Frontopolar cortex (L): 左前頭極皮質; Rest: 安静; Low load: 低負荷; High load: 高負荷。oxy-Hb 波形の青は安静，緑は低負荷，赤は高負荷を示し，また，それぞれの比較における横線の青，緑，赤は有意差の時間経過を示している。