

高齢者を対象とした色彩ブース空間における Oxy-ヘモグロビンへの影響

高橋 真悟*・児玉 直樹**・一志 哲夫***・馬場 哲平****・渡邊 朗子*****

The Influence of Oxy-hemoglobin in Color Environments with health elderly persons

Shingo Takahashi*, Naoki Kodama**, Tetsuo Isshi***, Teppei Baba****, Akiko Watanabe*****

要約 本研究では、高齢者を対象に、空間の色彩(白, 黄, 赤, 青)が脳血液量の変化にどのように影響するか検討を行った。Oxy-ヘモグロビンを計測した装置は、日立ハイテクノロジーズ製のウェアラブル光トポグラフィ(WOT100)を使用した。色彩ブース空間については内壁を基準色(白, 黄, 赤, 青)に統一した空間を用意し、その空間にて Oxy-ヘモグロビンの計測を行った。計測プロトコルは安静 20 秒, 課題呈示 6 秒(1 問), 課題回答 6 秒を 1 セットとし, 10 回繰り返すものとした。なお, 課題呈示についてはモニターを使用し, 回答はコントローラーを用いており, 回答は 2 択形式でコントローラーを用いて回答させるものとした。

安静時および課題呈示, 回答時の Oxy-ヘモグロビンの比較では, 課題呈示時において増加が認められた。本研究では課題時間が 5 分間であり, 時間が短かったため, 色彩空間の影響が少なく, 有意な差がみられなかったものと考えられる。しかし, 酸化ヘモグロビンの増加の大きさは異なっていたため, 課題時間を長くすることや問題の難易度を変えることで差が顕著になる可能性があるものと考えられた。

Keywords: 高齢者, 色彩ブース空間, 脳血液量

1. 緒言

現在, NIRS (Near-Infrared Spectroscopy:近赤外分光) は精神疾患だけではなく, 高齢者を対象とした研究でも用いられており, さまざまな課題における脳血液量が計測されている。NIRS とは, 近赤外光を用いて生体のヘモグロビン濃度を計測し, それにより局所血液量を推定し, 計測部位の機能を検討する方法論である¹⁾。我々はこれまで言語流暢性課題に着目し, カテゴリー流暢性課題遂行時における高齢者の脳血液量を計測してきた。言語流暢性課題は, 保険

適用で行われている光トポグラフィ検査でも用いられており, それ以外にも様々な検討が行われている。高齢者を対象とした研究では, 手指運動学習法による健康高齢者の前額部の脳血流量増加の検討²⁾ や NIRS を用いてチキンエキスによる効果を検証している報告がある³⁾。他にも NIRS を用いた報告は課題や疾患に焦点を当てたものが多い。しかし, NIRS による計測では課題ではなく, 計測環境における影響についての研究は少ない。空間における色彩は, 作業効率や脳活動に影響を与えるものと考えられており, 色彩と疲労度には関係性があるという報告や, 脳波にも影響があるとの報告もある。

視覚対象として色布を用い, 黄, 緑白, 青, 黒赤, 紫, 灰の順に被験者に呈示し, それぞれの対象物をみているときの α 波, β 波, θ 波の出現量を比較検討した三島らによると⁴⁾, 色により α 波, β 波, θ 波の出現量が違うことを報告している。また, 加藤らは, 黄, ピンク, オフホワイト空間は α 波を喚起し, くつろぎ効果や, 快適性が高く, 寒色系の青, 緑空間においては, α 波含有率および HF 成分共に低値を示し, 室内空間の快適性への効果は弱いと報告している⁵⁾。一志らもブース空間における色彩の情報処理活動への影響について, 光トポグラフィを用いてい

2017 年 12 月 22 日受付, 2018 年 1 月 30 日受理

* 高崎健康福祉大学 医療情報学科

Takasaki University of Health and Welfare

** 新潟医療福祉大学 医療技術学部

Niigata University of Health and Welfare

*** 三菱電機株式会社

Mitsubishi Electric Corporation

**** 東京電機大学大学院 未来科学研究科

Graduated School of Science and Technology

for Future Life, Tokyo Denki University,

***** 東京電機大学 未来科学部建築学科

Dept. of Architecture, School of STFL,

Tokyo Denki University

るが、Oxy-ヘモグロビンの変化については詳細に解析していない⁶⁾。

本研究では、高齢者を対象に、空間の色彩（白、黄、赤、青）が Oxy-ヘモグロビンにどのように影響するか、Oxy-ヘモグロビンについて詳細に検討を行った。なお、本研究で用いるデータについては、一志らが行った計測を無作為に抽出したものを使用した。

2. 本研究の対象と方法

本研究の対象は、健常高齢者 32 名（白：男性 4 名、女性 4 名、年齢 71.1 ± 4.5 歳、黄：男性 5 名、女性 3 名、年齢 72.4 ± 3.5 歳、赤：男性 5 名、女性 3 名、年齢 74.6 ± 5.3 歳、青：男性 5 名、女性 3 名、年齢 71.4 ± 5.4 歳）とした。計測課題は計算課題を用いており、計測装置は日立ハイテクノロジーズ製の WOT-220 を使用した。この装置は、近赤外光を用いて脳内におけるヘモグロビンの濃度変化を計測する装置であり、リアルタイムに計測することが可能である。WOT-200 は 705nm, 830nm の 2 波の光を用いて計測しており、Oxy-ヘモグロビン、Deoxy-脱酸化ヘモグロビン、Total-ヘモグロビンの計測ができ、無侵襲の装置である。計測できる部位は前頭前野領域となっており、計測チャンネルは 16CH である。チャンネルについては前頭前野を評価するため、CH7, CH10, CH13, CH16 における酸化ヘモグロビンの解析を行った。CH8, 9, 11, 12, 14, 15 については、眉毛や髪の毛の影響を考え、評価から除外した。計測装置を Fig.1 に、計測の様子を Fig.2 に示す。

計測プロトコルは安静 20 秒、計算課題呈示 6 秒（1 問）、課題解答 6 秒を 1 セットとし、10 回繰り返すものとした。なお、計算の課題呈示および解答については、モニターを用いており、解答は表示された 2 つの数字から答えを選択する 2 択形式とした。課題呈示はモニターを用いて呈示しており、回答は 2 択形式でコントローラーを用いて回答させるものとした。計算課題については、計算の難易度に差が生じないように、1 桁の数字 4 つからなる複合的な四則

演算の同一形式で問題を作成した。色彩ブース空間については内壁を基準色（白、黄、赤、青）に統一した空間を用意した。なお内壁にはブース内壁面前面に基準色の色紙を貼り付けた。

解析については生データを用いて比較を行った。また、Oxy-ヘモグロビン、Deoxy-ヘモグロビン、Total-ヘモグロビンについては光路長の影響から、被験者間のデータを直接比較を行ったりすることが難しい。この問題を解消する方法として各チャンネルからの生信号を Z スコアに変換する方法がある⁷⁾。各 Oxy-ヘモグロビンのデータから平均値 ($\mu^{\Delta oxy}$) と標準偏差 ($\sigma^{\Delta oxy}$) を求め、各サンプリングにおけるデータ ($\Delta Oxy(t)$) を

$$\Delta Oxy(t) = \frac{\Delta oxy(t) - \mu^{\Delta oxy}}{\sigma^{\Delta oxy}}$$

のように補正して、データを算出した。本研究ではこの $\Delta Oxy(t)$ についても検討を行った。今回の計測ではサンプリングレートを 200 ms とした。

統計学的検討は SPSS 12.0J for Windows を用いて解析を行った。各群の安静、課題呈示、回答の平均値の差の検定については Wilcoxon の符号付き順位検定を行い、色彩ブース空間の比較については Mann-Whitney's U 検定を用いて比較した。なお、有意水準は 5% とした。

色彩ブース空間では、基準色の白と光の三原色である黄色、赤、青の 4 種類の空間を用意し、計測を行った。なお、空間については、内壁に色の付いた色紙を貼り付け、実験使用機材等については、すべてのブースで統一した。空間内には、作業机、椅子、計算課題呈示用のモニター、解答に用いたコントローラーを用意した。

本研究は、東京電機大学ヒト生命倫理審査委員会において、同委員会の規則第 5 条第 3 号に基づき審査を行い、承認された（審査番号：26-75、平成 26 年 12 月 10 日に取得）。また、実験期間については平成 27 年 11 月 24 日から 12 月 4 日であり、そのうち 8 日間で計測を行った。



Fig. 1 計測装置



Fig.2 脳血液量計測の様子

3. 結果

Table 1 に各課題における Oxy-ヘモグロビンの平均値を示す。安静時, 課題呈示, 課題回答時で比較した結果, CH7 において安静時 0.1656 ± 0.3923 , と課題呈示時 0.2071 ± 0.4074 と Oxy-ヘモグロビンに有意な差が認められた。課題呈示時と回答時では, 課題呈示時の Oxy-ヘモグロビンのほうが値が高く, 有意な差が認められた(CH7, 10, 16)。次に色彩ブース空間別の Oxy-ヘモグロビンの値を Table 2 に示す。また, 色彩ブース空間別の Oxy-ヘモグロビンの変化量を Table 3, Fig.3 に示す。変化量は課題呈示時の平均値から安静時の平均値を引いたものとした。

色彩ブース空間別の Oxy-ヘモグロビンの変化量については, 空間において有意差は認められなかった。しかし, Fig.3 をみると, Oxy-ヘモグロビンの変化量には差がみられることがわかる。Oxy-ヘモグロビンの変化量は, 赤のブース空間では値が高く, 黄色のブース空間では値が低くなった。また, 赤, 青のブース空間では左前頭前野領域(CH13, 16)に比べ右前頭前野領域(CH7, 10)で値が高くなった。

本研究では, 生データだけではなく, Z スコア化した信号についても検討を行った。Z スコア化した課題毎における値, 色彩ブース空間別の変化量について Table 5, Fig.3 に示す。

Table 1 課題毎における Oxy-ヘモグロビン

Oxy-HB (全色)	安静	課題呈示	課題回答
CH7	0.1656 ±0.3923	0.2071 ±0.4074	0.1590 ±0.4039
CH10	0.2297 ±0.1694	0.2422 ±0.1504	0.2067 ±0.1704
CH13	0.2375 ±0.2412	0.2375 ±0.2571	0.2164 ±0.2738
CH16	0.2413 ±0.2023	0.2597 ±0.2079	0.2274 ±0.2127

(m(mol/l)*mm)

Table 2 計測値

Oxy-HB(白)	安静	課題呈示	課題回答	Oxy-HB(黄)	安静	課題呈示	課題回答
CH7	0.0605 ±0.6270	0.0765 ±0.6775	0.0430 ±0.6621	CH7	0.1147 ±0.2235	0.1358 ±0.2285	0.0840 ±0.2237
CH10	0.2464 ±0.1225	0.2641 ±0.1217	0.2413 ±0.1264	CH10	0.1686 ±0.0841	0.1607 ±0.0951	0.1132 ±0.1033
CH13	0.3782 ±0.2621	0.3829 ±0.2626	0.3948 ±0.2875	CH13	0.1257 ±0.1551	0.0956 ±0.1941	0.0560 ±0.2255
CH16	0.2970 ±0.1129	0.3273 ±0.1019	0.2947 ±0.1023	CH16	0.2299 ±0.3068	0.2176 ±0.3190	0.1843 ±0.3365
Oxy-HB(赤)	安静	課題呈示	課題回答	Oxy-HB(青)	安静	課題呈示	課題回答
CH7	0.2061 ±0.3636	0.2918 ±0.3157	0.2378 ±0.3382	CH7	0.2812 ±0.1083	0.3242 ±0.1003	0.2713 ±0.0860
CH10	0.2341 ±0.2610	0.2568 ±0.1967	0.2060 ±0.2445	CH10	0.2695 ±0.1378	0.2873 ±0.1365	0.2665 ±0.1274
CH13	0.2162 ±0.2304	0.2348 ±0.2519	0.2024 ±0.2519	CH13	0.2300 ±0.2324	0.2367 ±0.2303	0.2123 ±0.2125
CH16	0.2129 ±0.1985	0.2443 ±0.2025	0.2279 ±0.2184	CH16	0.2255 ±0.1146	0.2495 ±0.1142	0.2026 ±0.1017

(m(mol/l)*mm)

Table 3 Oxy-ヘモグロビンの変化量

Oxy-HB (全色)	白	黄色	赤色	青色
CH7	0.0160 ±0.0759	0.0211 ±0.0879	0.0857 ±0.1472	0.0430 ±0.0254
CH10	0.0176 ±0.0411	-0.0079 ±0.0857	0.0226 ±0.0894	0.0178 ±0.0278
CH13	0.0047 ±0.0345	-0.0301 ±0.0669	0.0186 ±0.0464	0.0067 ±0.0504
CH16	0.0303 ±0.0360	-0.0123 ±0.0724	0.0314 ±0.0647	0.0240 ±0.0408

(m(mol/l)*mm)

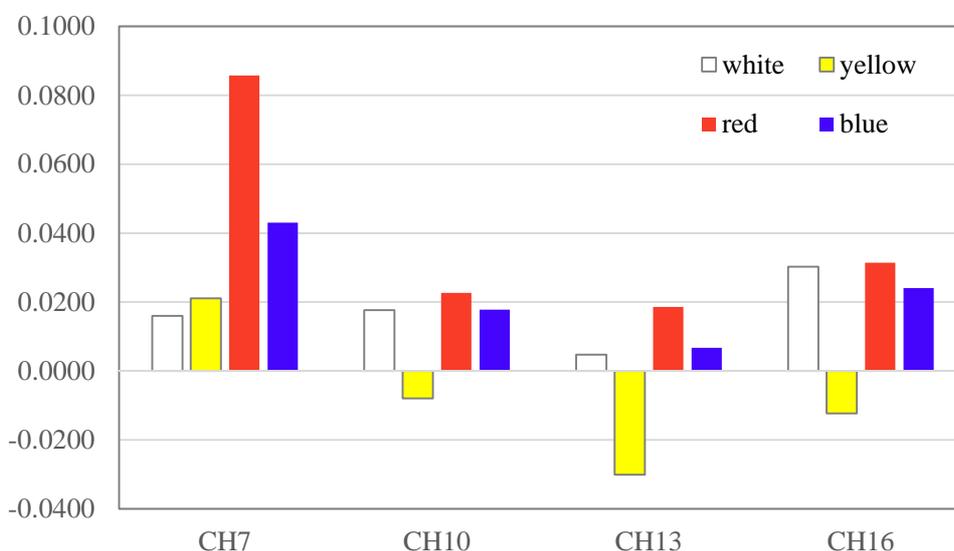


Fig.3 空間別の Oxy-ヘモグロビンの変化量

Table 4 課題毎における Z スコア化した値

Oxy-HB (全色)	安静	課題呈示	課題回答
CH7	-0.0469 ±0.1200	0.2339 ±0.3193	-0.0583 ±0.2238
CH10	0.0016 ±0.1159	0.1235 ±0.3315	-0.1246 ±0.2244
CH13	0.0150 ±0.1220	0.0583 ±0.3192	-0.1092 ±0.2730
CH16	-0.0161 ±0.1412	0.1643 ±0.3521	-0.1008 ±0.2879

(m(mol/l)*mm)

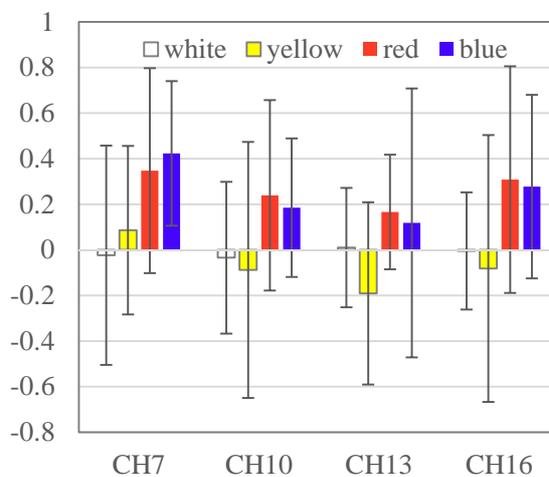


Fig.4 Z スコア化した空間別の変化量

Z スコア化した値では、Oxy-ヘモグロビンと同様に、安静時と課題呈示時において有意な差が認められた(CH7, 16). 課題呈示時と課題回答時でも有意な差が認められており、課題呈示時において値が高くなった。ブース空間別の変化量についても、Oxy-ヘモグロビンの変化量と同様に赤のブースが高かった。また、青のブースでも値が高くなっており、色の濃いブースで値が高い結果となった。

4. 考察

本研究では、高齢者を対象に、空間の色彩(白, 黄, 赤, 青)がOxy-ヘモグロビンにどのように影響するか、Oxy-ヘモグロビンについて詳細に検討を行った。

本研究では、色彩に着目し、高齢者を対象に4種類の空間でOxy-ヘモグロビンを計測している。高齢者は、加齢の影響から、水晶体の弾力性低下や黄色化が起り、光の散乱による輝度識別能力の減衰などが生じる⁸⁾。高齢者の好ましい照明について照明評価実験を行った山岸らによると、白熱灯においては、他の照明条件より若齢群では「落ち着く」と評価され、高齢群では「きれい」と評価されたことを報告している。さらに高齢群は若齢群より白熱灯を「明るい」と評価する傾向もみられたことを示している⁹⁾。このことから、高齢者にとって照明や環境デザインは非常に重要であると考えられ、QOL 向上については、環境デザインの検討が必要である。

NIRS は脳内におけるヘモグロビンの濃度変化を計測しているものであり、現在でも脳活動を計測する装置として使用されている¹⁰⁾。本研究では、計算課題時のOxy-ヘモグロビンと回答時におけるOxy-ヘモグロビンに有意な差が認められたが、これは計算課題時において脳活動が大きいことを示しており、回答時では選択肢を選ぶだけであるため、回答時のOxy-ヘモグロビン量が低かったと考えられる。

色別のブース空間におけるOxy-ヘモグロビンの変化量については、赤, 青色のブース空間では変化量が大きく、黄色のブース空間では変化量は小さかった。脳波では暖色系の空間は α 波含有率が高く、寒色系の空間では α 波の含有率が低くなったと報告されている⁵⁾。青色のブース空間においては、安静状態が維持できず、脳波における研究結果と同様Oxy-ヘモグロビンの変化量が高くなったことが考えられ、脳波における研究結果と同様である考えることができる。しかし、赤については寒色系の色でないため、脳波での検討とは結論が異なってしまう。一方で、近赤外分光法(NIRS)、脳波、心拍変動、脈波を用いて精神集中課題時の各種生理学的指標を検討しているIshiiらの報告では、ストレスタスク時において総ヘモグロビンは増加し、脳波ではタスクにばらつきがあったことを報告してい

る¹¹⁾。赤, 青のブース空間については、生活する上であまり経験のない空間であり、その中で計算課題を行うことで、被験者に大きいストレスが加わり、Oxy-ヘモグロビンの変化量が大きくなったものと考えられる。そのため、白, 黄色のブースでは増加がみられなかったものと考えられる。

一志らの研究では、黄色のブース空間で前頭前野領域に強い活動がみられたとしている。一志らの検討では課題時間を15分としており、今回の検討より時間を長くしている。そのため、時間の経過に従いストレス負荷も強くなり、黄色のブース空間でも活動がみられたものと考えられる。本研究においても色彩ブース空間は、課題時間が長くなるほど、Oxy-ヘモグロビンに変化がみられるものと考えられる。

本研究では、Oxy-ヘモグロビンのローデータだけではなく、Zスコアによる補正を行った信号についても検討を行った。NIRSは近赤外光を用いており、近赤外光は脳内で散乱が生じる。そのため、光路長が被験者毎に異なり、ローデータのままでは、群間比較ができないとされている。ローデータの結果においても、計算課題におけるOxy-ヘモグロビンの信号と課題回答時のOxy-ヘモグロビンに有意な差が認められた。また、ブース空間別における信号の変化量は、赤, 青ではローデータの結果と同様であったが、白のブース空間では変化がみられなくなった。脳血流量の減少は個人差が大きいとされており⁹⁾、白色の空間ではOxy-ヘモグロビンの個人差が大きいものと考えられる。しかし、青, 赤については個人差よりも色彩ブース空間のストレス負荷の影響の方が強いものと考えられ、色により一定の効果が得られたことが示唆された。

今回の計測では、被験者数が少ないため、今後人数を増やし、実験を行う必要がある。また、ブース空間での課題についてストレスを感じたかどうか、心理的な評価との関係も検討する必要があるものと考えられた。

5. まとめ

本研究では、高齢者を対象に、空間の色彩(白, 黄, 赤, 青)がOxy-ヘモグロビンの変化にどのように影響するか検討を行った。赤, 青のブース空間では計算課題時において、白, 黄色のブース空間に比べOxy-ヘモグロビンの変化量が大きかった。これは、赤, 青のブース空間が高齢者に負荷を与えたと考えられ、それによりOxy-ヘモグロビンに変化がみられたものと考えられる。

謝辞

本研究は、平成27-29年度科学研究費補助金・基盤研究(B)(課題番号:15H02880)「人の知的活動を支援する環境デザインの研究」の一部として実施された。

文献

- 1) 福田正人. (2015) 「抑うつ状態の鑑別診断補助」としての光トポグラフィー検査—精神疾患の臨床検査を保険診療として実用化する意義—. 精神神経学雑誌, 117, 79-93.
- 2) 百瀬義人, 守山正樹. (2015) 高齢者の脳血流量を増加させる革新的な手指運動学習法の開発. 日本認知症予防学会, Vol.4 No.1, 2-9.
- 3) Chizuru KONAGAI, Hiroshi WATANABE, Keiichi ABE, Nobuo TSURUOKA, Yoshihiko KOGA. (2013) Effects of Essence of Chicken on Cognitive Brain Function: A Near-Infrared Spectroscopy Study. Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry, Vol. 77 No. 1. 178-181.
- 4) 三島 孔明, 藤井 英二郎. (1990) 色彩と脳波特性に関する基礎的研究. 造園雑誌, Vol. 54 No. 5, 108-113
- 5) 加藤雪枝, 橋本 令子, 雨宮 勇. (2004) 室内空間に対する心理的及び生理的反応. 日本色彩学会誌, Vol.28 No.1, 16-25.
- 6) 一志 哲夫, 渡邊 朗子, 馬場 哲平. (2017) ブース空間における色彩が情報処理活動に与える影響：高齢者を対象とした個人の知的活動を支援する環境デザインに関する研究. 日本オフィス学会誌, 第9巻 第1号, 18-25.
- 7) 野澤孝之, 近藤敏之. (2009) NIRS 脳計測データのオンライン分析のためのアーティファクト除去手法の比較. 生体・生理工学シンポジウム論文集, 第24回, 381-384.
- 8) 金谷末子, 宮前あつ子. (1989) 高齢化社会と視環境, 人間工学, Vol. 25 No. 3, 163-167.
- 9) 山岸 未沙子, 久保 千穂, 山羽 和夫. (2012) ものの見え方に着目した高齢者のための照明の検討:—白色 LED 照明を用いた印刷物の「きれいさ」からの考察—. 日本感性工学会論文誌, Vol.11 No.3.
- 10) Yuka Morita, Fumio Ebara, Yoshimitsu Morita, Etsuo Horikawa. (2017) Near-infrared spectroscopy can reveal increases in brain activity related to animal-assisted therapy. J Phys Ther Sci, 29 (8), 1429–1432.
- 11) Yoshikazu Ishii, Hajime Ogata, Hidenori Takano, Hidenori Ohnishi, Toshiharu Mukai, Tohru Yagi. (2008) Study on mental stress using near-infrared spectroscopy, electroencephalography, and peripheral arterial tonometry. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc. 2008, 4992-4995.