

指，腕を用いた運動プログラムが前頭前野の酸素動態に及ぼす影響

杉野 恵¹⁾，三浦 哉²⁾，小林麻衣³⁾

- 1) 徳島大学大学院総合科学教育部
- 2) 徳島大学大学院ソシオ・アーツ・アンド・サイエンス研究部
- 3) 徳島大学総合科学部

Influence of original rhythmic exercise using fingers and arms on oxygenation at frontal area

Sugino Megumi¹⁾, Miura Hajime²⁾, Kobayashi Mai³⁾

- 1) Graduate School of Integrated Arts & Sciences, University of Tokushima
- 2) Institute of Socio-Arts & Sciences, University of Tokushima
- 3) Faculty of Integrated Arts & Sciences, University of Tokushima

要旨

健康な成人男女 8 名を対象に，指，腕を用いた運動プログラムが前頭前野部の酸素動態に及ぼす影響を明らかにするために，多チャンネル型近赤外分光装置のプローブを前頭部に装着し，酸素化ヘモグロビン，脱酸素化ヘモグロビンおよび両者の総和である血液量の変化を測定した．阿波踊りのリズムに合わせた 3 分 30 秒間の運動プログラムは，指，腕を用いて比較的簡単な左右対称の運動 (easy 条件) および比較的複雑な左右非対称な運動 (difficult 条件) であり，全ての運動は事前練習を行わず実施した．測定の結果，運動時の酸素化ヘモグロビンは easy 条件と比較して difficult 条件が高く，両条件間に有意な差が認められた ($0.26 \pm 1.90 \square \cdot \text{mol}$ vs. $2.87 \pm 2.70 \square \cdot \text{mol}$, $p < 0.05$)．血液量についても easy 条件と比較して difficult 条件が高く，両条件間に有意な差が認められた ($0.10 \pm 1.31 \square \cdot \text{mol}$ vs. $1.67 \pm 1.86 \square \cdot \text{mol}$, $p < 0.05$)．これらのことから，より複雑な指，腕を用いた阿波踊りのリズムに合わせた運動プログラムは前頭前野部への酸素供給の増大に影響することが示された．

キーワード：近赤外分光装置，前頭前野，運動

1. 目的

現在，わが国の高齢化は急速に進み，65 歳以上の老年人口は 3079 万人であり，これは総人口の 24.1%を占め，人口およびその割合は過去最高となっている (内閣府 2013)．老年人口は 1950 年以降上昇し続け，2025 年には 3657 万人に達し，その割合は 30.3%になると推測されている (内閣府 2013)．また，平

成 11 年に約 15 万人であった認知症の患者数は，平成 23 年には約 50 万人に増加している現状もある (厚生労働省 1999, 2011)．日常生活自立度 II 以上の認知症高齢者は，2015 年までに約 340 万人，2025 年までには約 470 万人になると推測されている (厚生労働省 2012)．このような状況は，介護者の負担および医療費・介護費の膨張による資金不足の点

からも大きな社会問題の一つとなる。認知症の約 70%はアルツハイマー型認知症および脳血管性認知症で占められており (小阪 2009), 脳血管性認知症は脳梗塞あるいは脳出血などの脳血管障害によって脳への血流が不足し, 脳の神経細胞の一部が死滅することが原因で発症する (飯島 2003). 認知症を発症すると, 記憶障害, 見当識障害, 理解・判断力の低下および実行機能の低下などの中核症状が生じ (川畑 2007), さらに, 本人の性格, 環境および人間関係など様々な要因が絡み合い, うつ状態および妄想のような精神症状あるいは, 日常生活に支障をきたすなどの周辺症状を発症する (川畑 2007, 小澤 2005).

これまでに, 磁気共鳴機能画像法を用いて簡単な計算実施時の脳血液動態を測定し, 前頭部および側頭部の血液量が増加すること (Kawashima et al. 2004) が, 磁気共鳴機能画像法および陽電子放射断層撮影法を用いて手指運動実施時の脳血液動態を測定し, 一運動野, 補足運動野などの血液量が増加することが報告されている (Kawashima et al 2000, 1998). さらに, 三浦ら (2006) は, 近赤外分光法を用いて指を使った 60 秒間の作業実施時の酸素動態を測定し, 前頭前野の酸素化ヘモグロビンおよび血液量が増加することを報告している。これらの研究から, 脳の代謝を活発にするような作業が推奨されており, 指, 手, 上肢を用いた簡易作業を実施することにより前頭前野部の酸素供給の増大が示唆されている。

前頭前野は前頭部に位置し, 人間的な要素である記憶, 創造性, 感情や行動の抑制機能, 計画性および学習能力を発達させるなどの高次機能を有している部分である。したがって, この領域への脳の酸素供給を増大させることは認知症を予防する上で重要であると

考えられる。これまで 60 秒間の指, 腕を用いた単一の動作時の前頭前野の酸素動態の特性について検討されている (三浦ら 2006) が, 様々な動作が組み合わさった数分間の運動プログラム時の検討はされていない。そこで本研究では, 認知症予防のためのプログラム作成の導入段階として, 独自に作成した指, 腕を用いた阿波踊り体操のリズムに合わせて行う運動プログラムが健康な成人男女の前頭前野の酸素動態に及ぼす影響を検討することを目的とした。

2. 方法

1) 被験者

被験者は, 喫煙習慣のない健康な成人男性 3 名 (年齢; 22.0 ± 1.0 歳, 身長; 175.9 ± 6.0 cm, 体重; 69.5 ± 0.4 kg) および成人女性 5 名 (年齢; 21.0 ± 0.7 歳, 身長; 158.6 ± 6.5 cm, 体重; 53.6 ± 5.0 kg) の計 8 名であった。なお, 本研究は徳島大学総合科学部人間科学分野における研究倫理委員会の承諾を得たものであり, 被験者には事前に文書および口頭にて研究の内容・趣旨, 参加の拒否・撤回・中断などについて説明し, 承諾を得た後に研究を開始した。

2) 運動プログラム

作成した運動プログラムは, 椅座位姿勢にて指, 腕を用いて, 4 拍子の阿波踊り体操のリズムに合わせて行う 3 分 30 秒間のリズム運動であった。なお, 本研究では以下に示す easy 条件および difficult 条件の 2 条件のプログラムを作成した。easy 条件は, 比較的簡単な左右対称の 6 種類の動作を 2 拍ずつ繰り返すプログラムであり, difficult 条件は比較的複雑な左右非対称の 6 種類の動作を 2 拍ずつ繰り返すプログラムで構成されている。作成した運動プログラムの各条件の動作の例は

図1 および図2 に示すとおりである. 図1の easy 条件は, 両手の母指および小指の屈曲, 示指, 間指および薬指の伸展状態から, 両手の示指, 間指および薬指の屈曲, 母指および小指の伸展動作を2拍ずつ交互に繰り返す動作, また, 両手の示指, 間指, 薬指および小指の屈曲, 母指の伸展状態から, 母指, 示指, 間指および薬指の屈曲, 小指の伸展を2拍ずつ交互に繰り返す動作で構成された. 図2の difficult 条件は, 右手の母指および小指の屈曲, 示指, 間指および薬指の伸展, 左手の示指, 間指および薬指の屈曲, 母指および小指の伸展状態から左右を入れ替え2拍ずつ交互に繰り返す動作, また, 右手の示指, 間指, 薬指および小指の屈曲, 母指の伸展, 左手の

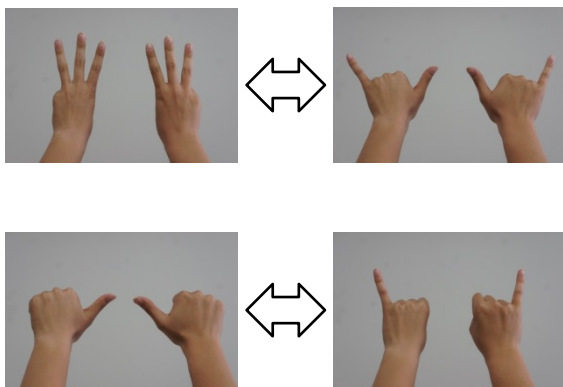


図1 作成した運動プログラムの easy 条件の動作の例

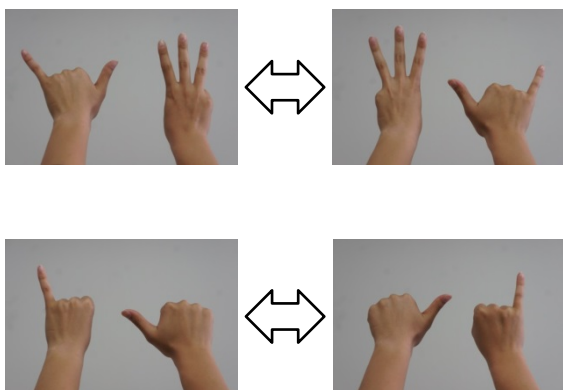


図2 作成した運動プログラムの difficult 条件の動作の例

母指, 示指, 間指および薬指の屈曲, 小指の伸展状態から左右を入れ替え2拍ずつ交互に繰り返す動作で構成された. また, この運動プログラムは, 説明と動作を交互に繰り返すため, 説明中, 両手は軽く太ももをたたいてリズムをとるように指示した. また, すべての運動プログラムは事前練習を行わず, 無作為に実施した. なお, 予備実験において, 椅座位姿勢で本プログラムで使用した音楽を聴いている際の前頭前野部の酸素動態には顕著な変化はみられなかったために, 本研究ではコントロール条件を設定せず, easy 条件および difficult 条件の2条件とした.

3) プロトコール

被検者は5分間の椅座位安静姿勢後, パソコン上の黒い画面を1分間凝視し, 作成した2条件の運動プログラムを無作為に実施し, 終了後, 再び2分間黒い画面を凝視した. 1度目の条件の測定終了後, 日を改め, 条件を変えて2度目の測定を行った. なお, 測定中は頭部の動きおよび発言などをしないように事前に注意した.

4) 測定項目および測定装置

運動プログラム実施時の前頭前野部の酸素動態を測定するために, 多チャンネル型近赤外分光装置 (near infrared spectroscopy: NIRS, COGNOSCOPE : NIM 社製) のプローブを前額部に装着し, 酸素化ヘモグロビン (oxy-Hb), 脱酸素化ヘモグロビン (deoxy-Hb) および両者の総和である血液量 (blood volume : BV) の変化を安静時から連続的に測定した. 近赤外光は皮膚を透過し, 散乱しながら脳組織にまで達し, 細動脈, 細静脈および毛細血管網に存在する血中のヘモグロビンに一部吸収された後, 受光部にもどってくる. このときの光量の変化から

oxy-Hb および deoxy-Hb が測定可能であり、生体組織における酸素の消費・供給のバランスの変化を非侵襲に測定し、局所レベルでの代謝状態を把握することができる (Chance et al 1997). 本研究で用いた NIRS 装置は、2個の発光ダイオード (light emitting diode: LED) および 6 個の受光部で構成され、近赤外波長域は 730 nm および 850 nm である. 連続的に広範囲 (18×6 cm) の酸素動態の変化を計測することが可能であり、LED と受光部との距離は 25 mm, 測定深度は約 12.5 mm である. なお、運動プログラムの実施に支障を来さないようにするために弾性包帯にてプローブを固定し測定した.

5) 統計処理

本研究の被験者は男性 3 名, 女性 5 名のため、男女別に区別せず分析を行った. また、被験者の前頭前野部の大きさを考慮して、デ

ータ分析には、被験者ごとに前頭前野部に相当する全てのデータから一つのチャンネルを選択し、分析対象とした. また、運動プログラムは説明と運動を交互に繰り返しており、分析の際には、説明時の動作を除く、被験者が 6 種類の指、腕の運動をしている時のみの oxy-Hb および BV の値を加算平均し、測定値とした. 結果は全て平均値 (Mean) および標準偏差 (standard deviation : SD) で示し、各運動中の 2 つの条件間における比較は対応のある t-test を行った. なお、本研究における危険率は 5%未満を有意水準として採用した.

3. 結果

1) 運動プログラム実施時の酸素動態の経時的变化の一例

easy 条件および difficult 条件の典型的な oxy-Hb および BV の経時的变化は図 3 に示

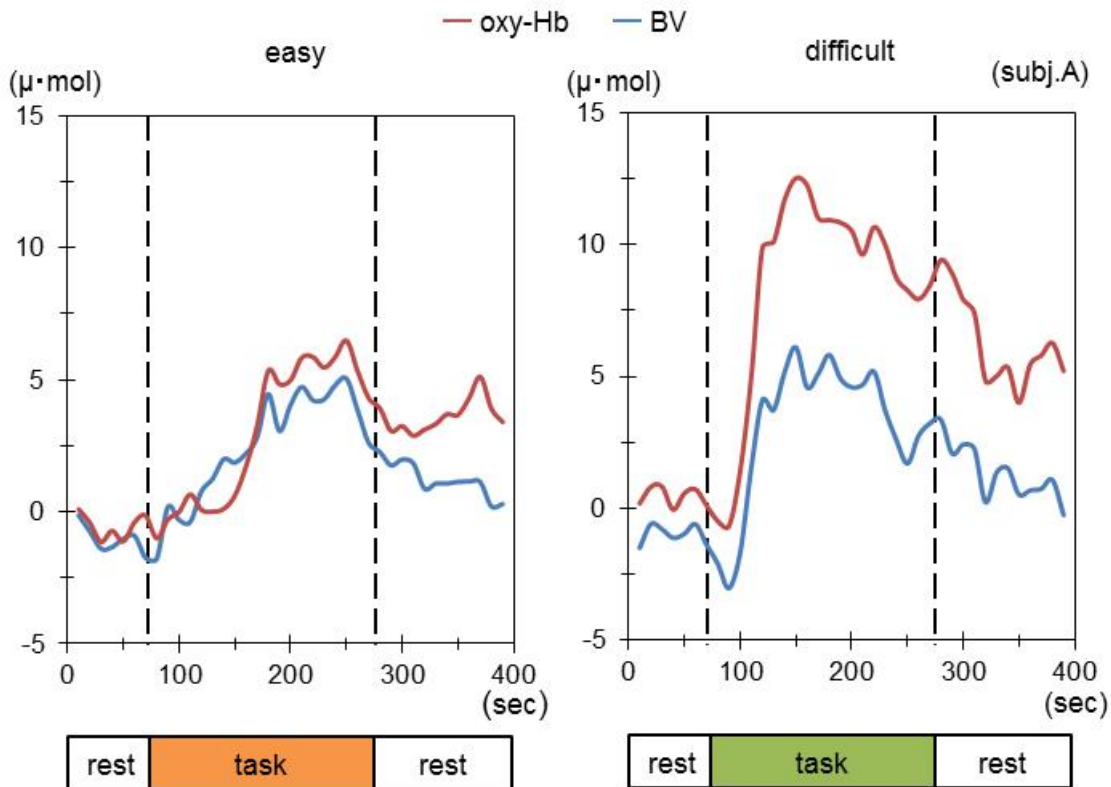


図 3 oxy-Hb および BV の経時的变化

すとおりである。oxy-Hb および BV は運動プログラム開始より増加し、easy 条件と比較して、difficult 条件ではその増加が著しい傾向が認められた。

2) 運動プログラム実施時の酸素動態の 2 条件間の比較

easy 条件および difficult 条件の oxy-Hb および BV の比較は図 4 に示すとおりである。oxy-Hb の値は easy 条件と比較して difficult 条件が高く、両条件間に有意な差が認められた ($0.26 \pm 1.90 \mu\text{mol}$ vs. $2.87 \pm 2.70 \mu\text{mol}$, $p < 0.05$)。BV の値は easy 条件と比較して difficult 条件が高く、両条件間に有意な差が認められた ($0.10 \pm 1.31 \mu\text{mol}$ vs. $1.67 \pm 1.86 \mu\text{mol}$, $p < 0.05$)。

4. 考察

近年、わが国の高齢化は急速に進み、高齢者介護による家族あるいは介護者の負担お

よび医療費・介護費の膨張など様々な問題が生じてきており、その問題の一つとして認知症患者の増加があげられる (厚生労働省 2007, 小阪 2009)。認知症は主にアルツハイマー型認知症および脳血管性認知症で占められており、現在、特に後者を予防する目的で読書、暗算および指を使った作業が推奨されている (Kawashima et al 2000, 三浦ら 2006)。

本研究では指、腕を用いて阿波踊り体操のリズムに合わせた運動プログラムを作成し、その効果を脳の酸素動態との関連から検討した。本研究で得られた重要な結果は、脳への酸素供給を表す指標である oxy-Hb および BV が運動プログラム開始時より増加し、運動終了後に減少すること、さらに、左右対称の比較的簡単な運動である easy 条件と比較して、左右非対称の比較的複雑な運動である difficult 条件で oxy-Hb および BV の著しい増加が認められた点である。

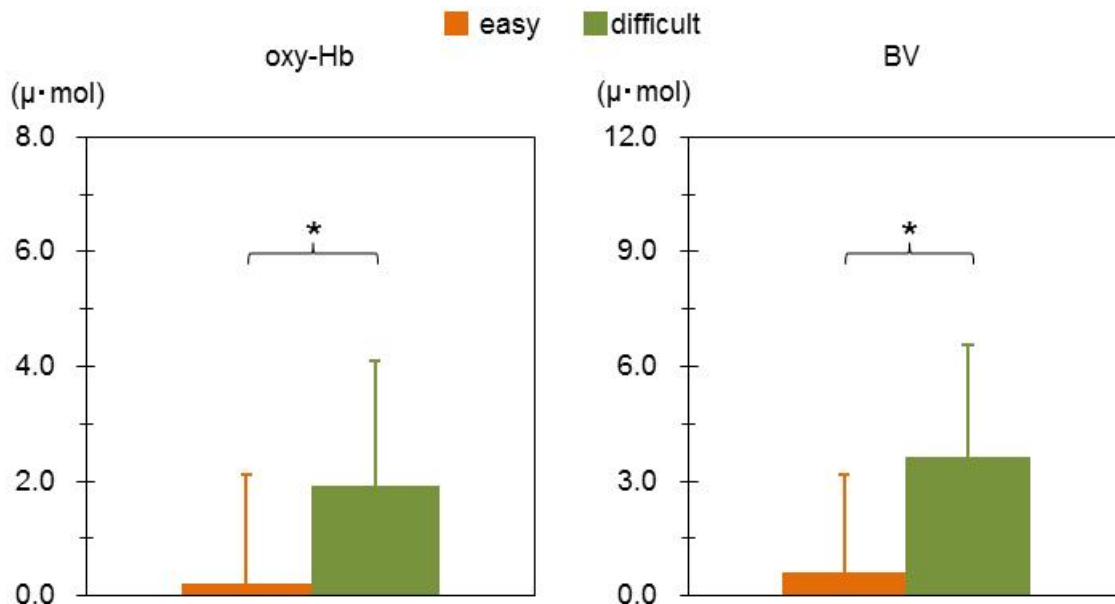


図 4 easy 条件および difficult 条件の oxy-Hb および BV の比較

値は Mean±SD, *($p < 0.05$): easy 条件 vs. difficult 条件

説明時の動作を除く、被験者が 6 種類の指、腕の運動をしている時のみの oxy-Hb および BV の値を加算平均し、測定値とした

本研究で用いた NIRS は、局所脳血液量の変化をとらえることが可能である (日下 2001)。これは、前頭葉をはじめとする脳神経細胞では一時的に神経細胞が増大し、エネルギー源であるブドウ糖および酸素を活動部位へ供給するために、局所脳血液量を増加させるといった代謝特性を利用したものである (Fox et al 1988, 加藤ら 2002)。指、腕を用いた細かい運動をコントロールするためには、運動の空間的なパターンを学習により獲得し、プログラムとして蓄えることができるような機構が必要となる。前頭葉には運動に関係深い運動野、運動前野および補足運動野といった運動関連領域があり、運動前野および補足運動野は運動野への結合を介して、内的・外的な環境・状況に基づいて学習された運動を実施する機能を担っている (三浦ら 2006)。したがって本研究で作成した運動プログラムの実施により前頭前野部が賦活し、運動開始時より脳血液量が増大したと考えられる。

また、運動プログラム実施時の oxy-Hb および BV の増加は、easy 条件および difficult 条件との間で有意な差が認められた。本研究で実施した easy 条件は左右対称の比較的簡単な運動であったが、difficult 条件である左右非対称の運動はスムーズな実行が困難であった。したがって、difficult 条件下では外的状況にもとづいて学習しながら作業を行う必要があるために、easy 条件と比較して difficult 条件で oxy-Hb および BV が増加したと考えられる。したがって、身近で実施可能である運動の中でも、より複雑な運動が前頭前野への酸素供給の増大に有効であることが示された。また、指を使った作業を繰り返し練習した被験者では oxy-Hb および BV の変化が低下する傾向が報告されている (三浦ら 2006)。これは、被験者が複雑な作業を

学習し、そのパターンを習得したことで前頭前野への貢献が減少し、その作業がスムーズにできるようになったことが原因であると考えられる。したがって、運動プログラムを処方する場合、easy 条件を導入段階として実施し、その後、difficult 条件へ段階的に実施することにより、効果的な前頭前野への酸素供給の増大が可能であると考えられる。さらに、difficult 条件の実施が容易になれば、その後は他の種類の左右非対称の動作を加え、難易度を上げ処方することで、さらなる効果が期待できると考えられる。

なお、本研究の限界として、以下の点があげられる。被験者が 8 名と少数であるため分析の際に男女の区別せずに行ったが、今後、被験者を増やし男女差についても検討する必要がある。また、被験者は健康な成人を対象としており、ここで得られた結果が、認知機能が低下したと推測される高齢者に当てはまるとは限らない。そのために、今後は高齢者を対象に本運動プログラムを実施し、酸素動態の変化を検討することで認知症予防への有用性を検討する必要がある。さらに、本研究は、一過性の運動プログラム実施時の前頭前野の酸素動態の変化を検討しているため、今後、介入研究により、本運動プログラムが前頭前野の酸素動態に及ぼす影響および認知的機能の改善への有用性を検討する必要がある。

5. 結論

本研究は、健康な男女成人 8 名を対象に、指、腕を用いた運動プログラムが前頭前野部の酸素動態に及ぼす影響を明らかにしようとした。その結果、oxy-Hb および BV は運動プログラム開始より増加し、easy 条件と比較して、difficult 条件ではその増加が著しい傾向があり、運動時の oxy-Hb および BV は

easy 条件と比較して difficult 条件が高く、両条件間に有意な差が認められた。以上のことから、阿波踊りのリズムに合わせた複雑な指、腕を用いた運動が前頭前野の酸素供給の増大に影響することが示された。

文献

- Chance B, Luo Q, Nioka S, Alsop DC, Detre JA (1997) Optical investigations of physiology: a study of intrinsic and extrinsic biomedical contrast, *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 352 : p.707-716
- Fox P, Raichle M, Mintun M and Dence C (1988) Nonoxidative Glucose Consumption During Focal Physiologic Neural Activity, *Science*, 241 : 462-464
- 飯島 節 (2003) 痴呆予防のための健康・体力づくり, *体育の科学*, 53 : 488
- 川畑信也 (2007) 第 2 章認知症における中核症状と周辺症状 (行動障害・精神障害), *知っておきたい認知症の基本*, 集英社 : 東京, p.63-83
- 加藤守匡, 征矢英昭 (2002) 運動時の前頭葉皮質における血流変化からみた脳の賦活. *体育の科学*, 52 : 956-959
- Kawashima R, Taira M, Okita K, Inoue K, Tajima N, Yoshida H, Sasaki T, Sugiura M, Watanabe J and Fukuda H (2004) A functional MRI study of simple arithmetic—a comparison between children and adults, *Brain Res Cogn Brain Res*, 18 : 227-233
- Kawashima R, Okuda J, Umetsu A, Sugiura M, Inoue K, Suzuki K, Tabuchi M, Tsukiura T, Singi L Narayan, Nagasaka T, Yanagawa I, Fujii T, Takahashi S, Fukuda H and Yamadori A (2000) Human Cerebellum Plays an Important Role in Memory-Timed Finger Movement: An fMRI Study, *J Neurophysiol*, 83 : 1079-1087
- Kawashima R, Matsumura M, Sadato N, Eichi Naito, Waki A, Nakamura S, Matsunami K, Fukuda H and Yonekura Y (1998) Regional cerebral blood flow changes in human brain related to ipsilateral and contralateral complex hand movements—a PET study, *Eur J Neurosci*, 10 : 2254-2260
- 日下 隆 (2001) 脳内酸素化, 循環動態の観察, *体育の科学*, 51 : 522-526
- 厚生労働省 (2011) 4 主な傷病の総患者数, 平成 23 年患者調査の概況 <http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/kanja/11/dl/04.pdf> (参照日 2013 年 11 月 20 日)
- 厚生労働省 (1999) 5 主要な傷病の総患者数, 平成 11 年患者調査の概況 <http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/kanja/kanja99/5.html> (参照日 2013 年 11 月 20 日)
- 三浦 哉, 木野倫子, 染谷成則, 川越勇介, Chance B (2006) 簡易作業時の前頭部の酸素動態の特性—COGNOSCOPE による検討—, *脈管学*, 46 : 15-19
- 内閣府 (2013) 第 1 章高齢化の状況, 高齢社会白書 平成 25 年度版, 内閣府 : 東京, p.2-4
- 小澤 勲 (2005) 第 3 章認知症の症状, 認知症とは何か, 岩波書店 : 東京, p.22-24
- 小阪憲司 (2009) Overview 認知症医療の現状と課題, *Geriatr Med*, 47 : 7