

前頭葉損傷者の発動性障害への認知リハビリテーション —近赤外分光法(NIRS)による検討—

柴崎 光世

近年、さまざまな領域で活用されている脳機能測定装置は、脳損傷後遺症リハビリテーションの領域においても非常に有益である。本研究は、前頭葉損傷後に生じる発動性障害への認知リハビリテーション的な介入が、患者の脳血行動態にどのように影響するかを、近赤外分光法 (near-infrared spectroscopic imaging: NIRS) を用いて検討することを目的とした。発動性障害者では、自発的な視線や注意の移動、また、刺激に対する反応遅延が認められる (Stuss, 2007)。この点に着目し、本研究では、視覚探索課題を利用した認知リハビリテーションを、発動性障害を主訴とする慢性期の前頭葉損傷者を対象に実施した。まず、行動データに関して、訓練による劇的な改善はなかったものの、訓練期間後半では、訓練期間前半と比べて、標的刺激に対する対象者の見逃しが減少し、反応時間が短くなる傾向が認められた。一方、NIRSデータについては、介入直後では、課題前半 10 秒及び課題後半 10 秒の各時間帯の前頭前野の平均 oxy-Hb 値がベースライン期より有意に高くなった。特に、介入直後に観察された課題開始から 10 秒間の前頭葉血行動態の顕著な立ち上がりは、訓練課題の反復実施による患者の前頭前野領域の反応性の向上を反映していると考えられた。以上の結果から、本研究が対象としたような慢性期の脳損傷者においても、反復訓練法に基づく認知リハビリテーション的な介入により、脳内に可塑的な変化がもたらされることが示唆された。

Key Words: 脳損傷, 前頭葉, 発動性障害, 認知リハビリテーション, NIRS

昨今の科学技術のめざましい発展に伴い、機能的 MRI (fMRI) やポジトロン CT (PET)、脳磁計 (MEG) といった、脳の神経活動を非侵襲的に測定できる技術が革新的に進歩し、さまざまな研究領域で利用されている。心理学においても、これらの脳機能計測装置は積極的に用いられており、その結果、記憶や言語、視覚認知といった個々の心的機能を支える神経基盤に関する私たちの知識は飛躍的に増大した。

脳機能計測装置の導入は、脳損傷後遺症に対するリハビリテーションの領域にも非常に有益である (Carey & Seitz, 2007, Dobkin, 2005, Mainero, Pantano, Caramia, & Pozzili, 2006, Muñoz-Cespedes, Rios-Lago, Paul, Maestu, 2005, Strangman, et al. 2008)。脳機能障害リハビリテーションに脳機能計測装置を用いることの大きな利点は、脳損傷後の機能回復の基盤となる神経メカニズムについて客観的な資料が得られる点にある。たとえば、Mimura, et al. (1998) は、SPECT による脳血流データをもとに、脳血管障害後の失語症回復に伴う神経メカニズムの変化を、発症から 1 年以内の早期の言語機能の回復と、発症から 1 年以上を経た長期の言語機能の回復の 2 つに分けて検討をおこなった。その結果、失語症の早期回復が良好な患者群では、そうでない患者

群と違って、発症から 9 ヶ月目の左半球の平均血流量に有意な回復が示されたことから、発症後 1 年以内の早期の言語機能の回復に、言語野近傍の機能改善が関与していることが示唆された。一方、失語症の長期予後に関して、発症から約 7 年間の長期の言語機能の回復が良好な患者群では、右半球の前頭葉や視床、また、左半球前頭葉の血流量が、長期回復が不良な患者群より有意に高くなったため、長期の失語症の回復過程においては、これらの脳領域が言語機能の代償的なはたらきを担っている可能性が示された。慢性期の失語症の回復に、言語野以外の脳領域からの言語機能の代償が関与している可能性は、PET を用いて失語症からの回復過程を検討した横山・長田 (2004) からも示唆されている。

脳損傷後の後遺症のうち、先に示した失語症と同様に、脳領域との機能局在が比較的明確な片側運動麻痺に関しても、機能回復を支える脳内機序について脳機能測定装置を用いた検討が進められており、損傷半球運動野の再構築や、非損傷半球による運動機能の代償など、その回復過程における脳内の可塑的な変化が徐々に明らかにされつつある (たとえば、加藤・武田, 2009, 三原・矢倉・畠中・服部・宮井, 2010, Pizzamiglio, Galati, & Comitteri, 2001)。他方、Muñoz-Cespedes, et al. (2005) が述べるように、脳損傷後の機能回復の

¹ 本研究は科学研究費補助金 (若手研究 (B)、課題番号: 21730566) による助成を受けた。

脳内機序について検討した脳機能画像研究は、現在のところ、失語症や片側麻痺に関するものが中心で、空間的認知障害や記憶障害、遂行機能障害といった、そのほかの脳機能障害（とりわけ高次脳機能障害）の自然回復のメカニズムについてはあまり検討されていない。加えて、自然回復でなく、これらの高次脳機能障害に対する認知リハビリテーション的な介入によって引き起こされる脳内機序の変化については、コンピュータを利用した視覚機能訓練や注意機能訓練が、視野障害を呈す卒中患者や、視空間的注意障害を呈す脳外傷者の脳に可塑的な変化をもたらすことをそれぞれ示した Julkunen, et al. (2006) や Kim, et al. (2009) の脳機能画像研究があるものの、さらにエビデンスが少なくなる。

そこで、本研究は、当該領域の資料の蓄積の一助となることをめざし、脳損傷後の高次脳機能障害への認知リハビリテーション的な介入が、患者の脳機能の回復にどのように作用するかを、脳機能計測装置を用いて検討することを目的とした。特に、本研究では、前頭葉損傷後に生じる遂行機能障害の1つに位置づけられる (Cicerone, Levin, Malec, Stuss, & White, 2006) 発動性障害をとりあげ、同障害に対する認知リハビリテーション的な介入が、慢性期の前頭葉損傷者の脳血行動態にどのように影響するかを検討した。なお、本研究では、対象者の脳血流測定に際して、近赤外分光法 (near-infrared spectroscopic imaging: NIRS) を利用した。NIRSは、その安全性の高さや拘束性の低さから、臨床場面での応用に適した脳血流測定法の1つと考えられる。

方法

症例 38歳の右利き男性OT（専門学校卒）を対象とした。本症例は2002年にくも膜下出血を発症し、その後遺症として、全般的認知機能の低下と前向き健忘、そして、重篤な発動性障害を呈した。患者は家族や病棟スタッフが働きかけないと、自発的に行動しようとし、他者から話しかけられると返事はするが、自分から話しかけることはなかった。WAIS-III VIQ 65。片麻痺や失語はなかった。CT所見では両側前頭葉に低吸収域を認めた (Figure 1)。本研究の参加にあたっては、患者本人と家族に対し研究内容や手続き等について十分な説明をおこなった後、書面にて同意を得た。

装置 刺激の呈示と反応入力に、ノートパソコン（パナソニック、CF-Y8）、17インチ・カラーディスプレイ（三菱電機、RDT1713S）、外部スイッチ（Cedrus、RB-834）を使用した。また、認知リハビリテーションによる介入前後の患者の前頭葉血行動態の測定・記録に赤外線酸素モニタ（浜松ホトニクス、NIRO-200）を用いた。

訓練課題 本研究では、臨床的な観察において発動

性障害者では視線を自発的に移動してあらゆる方向に注意を向け、環境内を探索しようとする行動が生じしづらいうこと、加えて、発動性障害の特徴として刺激に対する反応遅延が認められること (Stuss, 2007) に着目し、自発的な視線や注意の移動と、標的刺激に対する迅速な反応が要求される視覚的探索課題を発動性障害に対する訓練課題として使用した。訓練課題の個々の試行では、画面右側上下8箇所及び画面左側上下8箇所の計16箇所のうちのランダムな1箇所に、標的刺激となる緑色の円（視角約 $0.7^{\circ} \times 0.7^{\circ}$ 、観察距離約60cm）を呈示し、標的刺激を検出したらできるだけ速く手元の外部スイッチを押すよう対象者に教示した。患者の反応とともに標的刺激は消失し、3種類の試行間隔（1000ms, 2000ms, 3000ms）のいずれかをランダムにはさんで次の試行に移した。本課題は、非標的刺激を呈示せずに、標的刺激のみを呈示するGo課題であった。試行数は全部で48試行あり、24試行を終えた時点で、約1分間の休憩をはさんだ。訓練課題終了後には、対象者に結果のフィードバックをおこなったうえで、どういうところが難しかったか、また、遂行を改善するためにはどうすればよいかなどを述べるよう求めた。訓練期間は、2009年10月から2010年2月の約4ヶ月で、週に1～2度の頻度で訓練を実施した。

評価課題 認知リハビリテーションによる介入の直前と直後、そして、介入後2ヶ月の時点で、評価課題を実施し、課題遂行中の対象者の脳血行動態を測定した。課題は訓練課題と同じく視覚探索課題であった。課題ブロックの各試行では、画面右側上下8箇所及び画面左側上下8箇所の計16箇所のうちのランダムな1箇所に、標的刺激となる緑色の円（視角約 $0.7^{\circ} \times 0.7^{\circ}$ 、観察距離約60cm）を1500ms呈示し、標的刺激を検

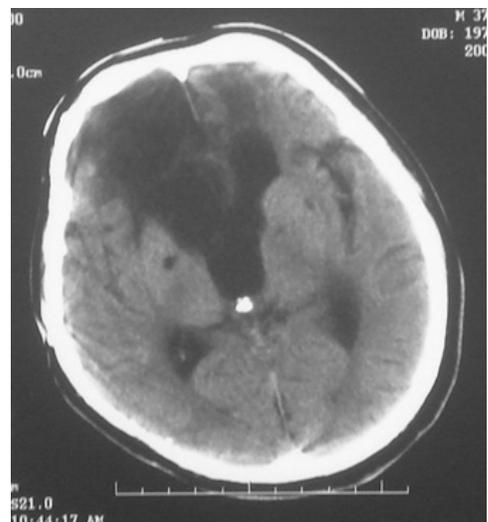


Figure 1. OTのCT画像.

出したらできるだけ速く手元の外部スイッチを押すよう教示した。試行間隔は500ms, 1000ms, 2000ms, 3000msのうちのランダムな1つで、1つの課題ブロックの試行数は16試行であった。さらに、課題ブロックの前には55秒の安静時間を設け、安静－課題－安静を1セッションとし、計4セッション実施した。

そのほかの神経心理学的評価 訓練効果の般化について検討するために、介入の前後に、次の神経心理学的評価を実施した。1) 遂行機能の評価：語流暢性検査(WAB失語症検査), 修正ストループテスト(加藤, 1988), 慶應版 Wisconsin Card Sorting Test (KWCSST, 鹿島, 1995), Trail Making Test (TMT, 鹿島他, 1986)。Cicerone, et al. (2006)によると、語流暢性検査とストループテストは、発動性や意欲を評価する尺度としても位置づけられる。2) ワーキングメモリ機能の評価：数字の順唱と逆唱(WAIS-III)。3) 全般的認知機能の評価：ミニメンタルステイト検査(MMSE)。4) 日常生活場面における前頭葉機能の評価：遂行機能障害症候群の行動評価(BADS)日本版の遂行機能障害の質問表。同質問表には、患者本人とリハビリテーションスタッフがそれぞれ独立に回答した。

NIRSデータの測定 対象者の前額部の2箇所(国際10-20法におけるFp1とFp2)に近赤外光の照射プローブと検知プローブを装着し、評価課題遂行中の患者の前頭野血行動態を測定した。サンプリングタイムは0.5秒で、測定後のNIRSデータについては、5秒の移動平均処理を施した後、課題ブロック直前の10秒の平均ヘモグロビン濃度変化量を基準値とし、個々の測定値から基準値を減算するベースライン補正をおこなった。

結果

訓練課題 標的刺激を呈示してから1500ms以内に

患者が反応した場合を正反応とした。訓練期間中に実施した訓練課題の平均誤反応率は36.0% ($SD = 6.1$)、平均反応時間は932ms ($SD = 69.6$)であった。訓練課題の反復実施による学習効果を調べるために、訓練期間の前半3セッションと後半3セッションの平均誤反応率と、正反応時の平均反応時間をそれぞれ求めたところ、訓練期間前半では誤反応率が41.4% ($SD = 0.4$)、反応時間が995ms ($SD = 52.1$)、訓練期間後半では誤反応率が32.2% ($SD = 4.2$)、反応時間が882ms ($SD = 9.9$)であった。訓練期間後半では、訓練期間前半と比べて、平均誤反応率と平均反応時間がそれぞれ減少した。

評価課題 ベースライン期、介入直後、フォローアップ期の各時期に実施した評価課題について、全4セッションのうち、1セッション目では課題要求の理解不足による影響、4セッション目では疲労による影響がおのおの観察されたため、本研究では、2セッション目と3セッション目のデータを分析対象とした。

行動データ：評価課題においても、訓練課題と同様に、標的刺激の呈示後1500ms以内に患者が反応した場合を正反応とした。分析対象の2セッションに関して、ベースライン期、介入直後、フォローアップ期の各時期の平均誤反応率を求めたところ、それぞれ68.8% ($SD = 25.0$)、46.9% ($SD = 3.1$)、50.0% ($SD = 0.0$)であった。また、各時期の正反応時の平均反応時間は、ベースライン期、介入直後、フォローアップ期で、それぞれ1263ms ($SD = 161.1$)、897ms ($SD = 138.1$)、880ms ($SD = 3.6$)であった。介入直後とフォローアップ期では、ベースライン期と比較して、平均誤反応率が低くなり、平均反応時間が短くなる傾向が観察された。

NIRSデータ：分析対象の2つのセッションのNIRSデータを加算平均した後、課題遂行中の患者の各ヘモ

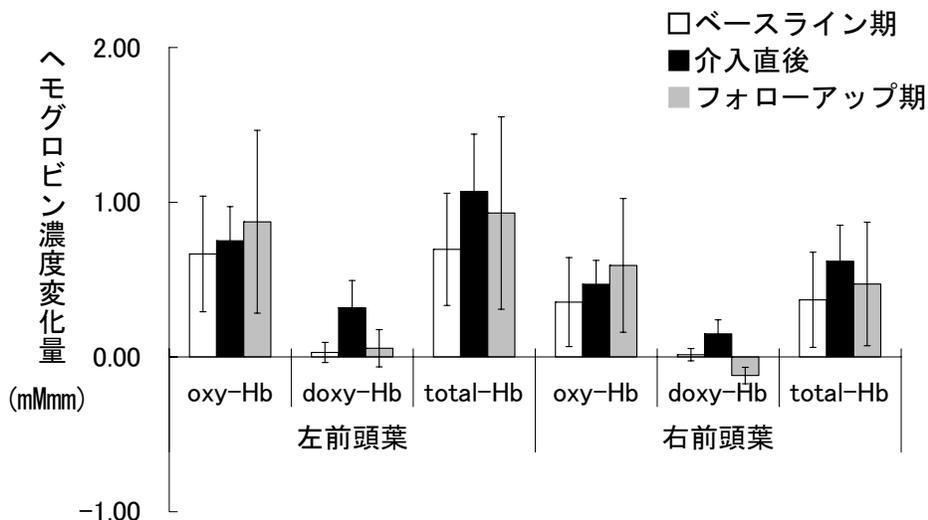


Figure 2. 評価課題遂行中のOTの各ヘモグロビン平均濃度変化量。

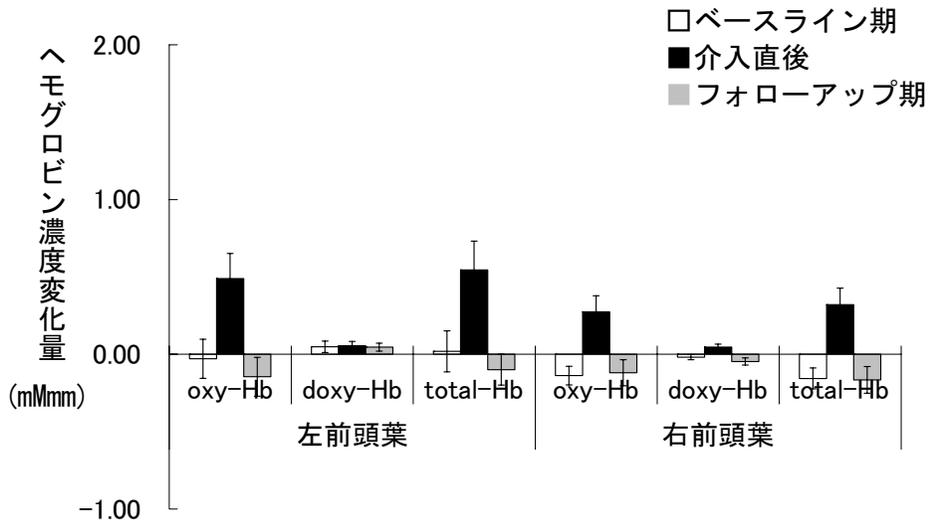


Figure 3. 評価課題前半 10 秒のOTの各ヘモグロビン平均濃度変化量。

グロビン平均濃度変化量を算出した (Figure 2). Hoshi, Kobayashi, & Tamura (2001) によれば, NIRS データとして得られる酸素化ヘモグロビン (oxy-Hb), 脱酸素化ヘモグロビン (doxy-Hb), 総ヘモグロビン (total-Hb) の3つのヘモグロビン濃度変化量うち, oxy-Hb 値が脳血流の変化をもっとも反映すると思われる。そこで, 課題中の平均 oxy-Hb 値に着目すると, 左右の前頭葉ともに, ベースライン期<介入直後<フォローアップ期の順で oxy-Hb 値が上昇する傾向が認められた。また, 各時期とも, 右前頭葉の oxy-Hb 値が左前頭葉と比べて全般に減少した。課題ブロックの個々の平均 oxy-Hb 値について, 時期(ベースライン期, 介入直後, フォローアップ期)と部位(左前頭葉, 右前頭葉)を要因とする 2 要因分散分析をおこなったところ, 時期の主効果が有意で ($F(2,327) = 10.12, p$

$< .001$), ライアン法による多重比較の結果, フォローアップ期の平均 oxy-Hb 値がベースライン期と介入直後の平均 oxy-Hb 値より有意に増加した ($p < .05$)。加えて, 部位の主効果も有意であった ($F(1,327) = 1482.35, p < .001$)

次に, 課題ブロックの前半 10 秒と後半 10 秒の各ヘモグロビン平均濃度変化量を Figure 3 と Figure 4 に示した。Figure 3 に明らかなように, 介入直後では, 課題開始から前半 10 秒の平均 oxy-Hb 値がベースライン期とフォローアップ期と比べて大きく上昇した。他方, 課題後半 10 秒では, 介入直後とフォローアップ期の平均 oxy-Hb 値がベースライン期より増加する傾向が示された。課題前半 10 秒及び後半 10 秒の平均 oxy-Hb 値に関して, 時期と部位を要因とする 2 要因分散分析をそれぞれおこなった結果, まず, 課題前半 10

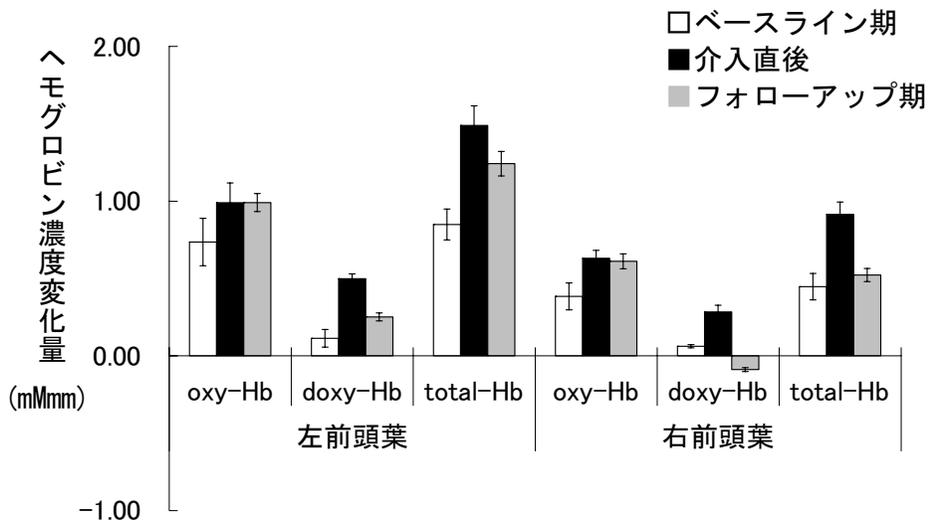


Figure 4. 評価課題後半 10 秒のOTの各ヘモグロビン平均濃度変化量。

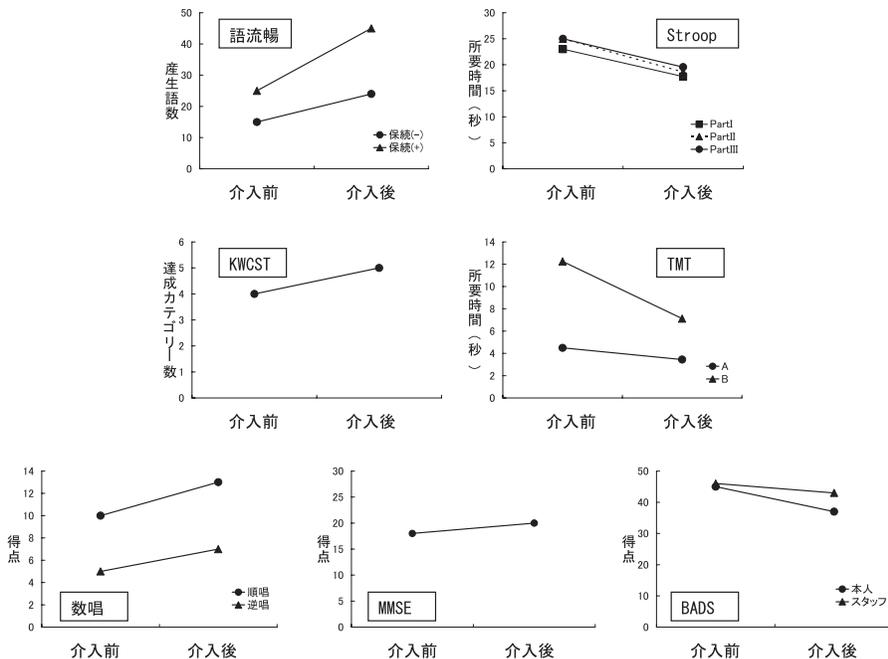


Figure 5.各般化課題の結果。語流暢性検査の産生語数では、保続反応を含まない値(保続-)と含む値(保続+)を示した。また、BADsの質問表では、得点が高いほど患者の行動障害が重篤であることを示す。

秒について、すべての主効果及び交互作用が有意であることがわかった(時期の主効果: $F(2,57) = 128.33, p < .001$, 部位の主効果: $F(1,57) = 101.21, p < .001$, 時期と部位の交互作用: $F(2,57) = 49.93, p < .001$). 時期と部位の有意な交互作用に伴う単純主効果検定をおこなったところ($p < .05$), 左右の前頭葉ともに、介入直後の平均oxy-Hb値がベースライン期とフォローアップ期より有意に上昇した。また、左前頭葉では、ベースライン期とフォローアップ期の平均oxy-Hb値に有意差が認められた。さらに、ベースライン期と介入直後では、左前頭葉の平均oxy-Hb値が右前頭葉の平均oxy-Hb値と比べて有意に高くなった。一方、課題後半10秒の平均oxy-Hb値に関しては、時期の主効果と部位の主効果が有意で(時期の主効果: $F(2,57) = 47.92, p < .001$, 部位の主効果: $F(1,57) = 1421.29, p < .001$), ライアン法による多重比較の結果、介入直後とフォローアップ期の平均oxy-Hb値がベースライン期より有意に上昇した($p < .05$)。

般化課題 認知リハビリテーションによる介入前後の個々の般化課題の結果をFigure 5に示した。介入後では、すべての般化課題の成績が介入前より上昇する傾向が認められた。とりわけ、語流暢性検査、TMT-PartB、修正ストループテスト、数字の順唱・逆唱課題においては、介入後の成績改善が目立った。

考察

本研究は、前頭葉損傷後に生じる発動性障害への認知リハビリテーション的な介入が、患者の脳血行動態

にどのように影響するかを、NIRSを用いて検討することを目的とした。はじめに、本研究で訓練課題として利用した視覚探索課題に対する患者の行動データの変化に着目すると、前述のように、訓練開始当初の本症例の平均誤反応率は約40%、平均反応時間は約1000msとなっており、同じ課題を健常大学生に実施した柴崎・小原・松本・吉澤(2010)では、平均誤反応率が1%未満で、平均反応時間が300ms前半であった(実験1のgo条件)ことと比べると、患者の年齢が柴崎他(2010)の実験参加者より20歳近く高いことを考慮しても、同課題に対する患者の遂行が全般に低下していることがわかる。そのため、発動性障害を主訴とする本症例にとっては、自発的な視線の移動や標的の刺激に対する迅速な反応が要求される視覚探索課題が、訓練開始時に困難であったといえる。ただ、訓練期間後半では、患者の遂行に劇的な改善は認められなかったものの、訓練期間前半より、平均誤反応率が10%近く低下し、平均反応時間が100ms以上短縮した。同様の傾向は、評価課題で実施した視覚探索課題でも認められ、認知リハビリテーション介入後では患者の誤反応率と反応時間は、ベースライン期よりそれぞれ減少し、さらに、こうした改善傾向は、介入後から2ヶ月が経過したフォローアップ期にも維持された。以上の結果は、訓練課題を一定期間繰り返し実施することにより、課題遂行中の患者の反応性が増し、介入当初に観察された標的の刺激に対する見逃しの多さや反応遅延といった患者の行動上の問題点が幾分改善したことを示唆している。

次に、NIRSデータの結果をみてみると、まず、評価課題遂行中の患者の平均 oxb-Hb 値に関して、ベースライン期、介入直後、フォローアップ期のいずれについても課題遂行中の患者の oxb-Hb 値が課題開始前の基準値より増加したことから、本研究で訓練課題として利用した視覚探索課題が患者の前頭前野に直接的に働きかける課題であったことが確認された。一方、各時期のNIRSデータの比較では、評価課題の全時間帯の平均 oxb-Hb 値では、ベースライン期と介入直後の値に有意差が認められなかったものの、課題開始から前半10秒の時間帯では、介入直後の oxb-Hb 値がベースライン期やフォローアップ期と比べて大きく上昇した。同様に、課題ブロックの後半10秒の時間帯についても、介入直後の oxb-Hb 値がベースライン期より有意に増加し、この傾向はフォローアップ期にも維持された。したがって、本研究においては、評価課題の全時間帯の平均脳血流量というよりも、課題開始から前半10秒と後半10秒の各時間帯の脳血流量に、前頭前野の脳血流量の上昇という形で、認知リハビリテーションによる訓練効果が観察されたといえる。特に、介入直後のNIRS測定で、課題開始10秒間にみられた oxb-Hb 値の顕著な増加は、訓練課題の反復実施により課題に対する患者の感受性が向上し、課題の開始にすぐに呼応するかのように前頭領域が活動を生じさせている様子を反映しているように思われる。

本症例では、3回のNIRS測定のすべてにおいて、評価課題遂行中の右前頭前野の oxb-Hb 値が左前頭前野の oxb-Hb 値より一貫して低くなった。しかし、同じ課題を大学生に実施した柴崎他(2010)では、どちらかというと右半球優位な前頭前野の血流上昇を認めているので、本症例では健常者と逆の結果が得られたことになる。本症例は、左右前頭前野の両側性損傷を有していたが、Figure 1のCT画像に明らかのように、右前頭前野の損傷が左前頭前野の損傷に比べて大きな広がりを見せている。このことが患者の右前頭前野機能を阻害し、結果として、課題遂行中の患者の右前頭前野の相対的な血流減少という健常者とは逆の血流パターンをもたらしたのかもしれない。

介入後の患者の日常生活場面での変化については、認知リハビリテーションの実施により、日常場面で観察される患者の発動性機能が目に見えて回復することはなかったが、BADsの行動評価では、患者自身及びリハビリスタッフの評価の両方で、介入後の成績に多少の改善がみられた。また、そのほかの神経心理学的検査においても、発動性以外の遂行機能やワーキングメモリ、全般的認知機能を測定するすべての課題において、介入後では成績が上昇する傾向が認められた。本症例は発症から7年以上を経た慢性期の前頭葉損傷者であることから、各般化測度で観察された成績の改善に、自然回復が強く影響しているとは考えにくい。

むしろ、今回実施した認知リハビリテーションによる訓練効果がおおのの般化課題で要求される高次脳機能にある程度促進的に影響したと考えられる。

本研究の結果から、反復訓練法による認知リハビリテーション的な介入が、Julkunen, et al. (2006)の患者の場合と同様に、慢性期の脳損傷者においても脳内に可塑的な変化をもたらすことが示唆された。特に、本研究では、課題前半10秒や課題後半10秒といった課題開始から特定の時間帯の脳血流において訓練効果を認め、とりわけ、介入直後に観察された課題開始後10秒の前頭葉血行動態の顕著な立ち上がりは、反復訓練による患者の前頭前野領域の反応性の向上を反映していると考えられた。ところで、健常者を対象に訓練後の脳の可塑的变化をみた研究では、ワーキングメモリのような高次の認知課題で、訓練により前頭葉や頭頂葉の賦活が減衰する場合があります。これは、神経ネットワークの伝達の効率化によると考えられている(服部・宮井, 2010)。本研究では、約4ヶ月の認知リハビリテーションの結果、課題中の前頭前野の血流上昇という形で訓練効果が生じたが、さらに訓練を続け、課題に要求される認知技能がよりしっかりと習得された際に、本研究が対象としたような慢性期の脳損傷者においても、学習効果を示す脳血流の減衰が同様に観察されるのか、興味深いところである。また、本稿の冒頭で述べたように、脳損傷からの回復過程における可塑的な変化として、脳損傷によって障害された機能を、別の脳領域が肩代わりする代償機能が生じることが知られている。この点について検討するためには、前頭葉の限局した領域だけでなく、より広範な脳領域の血流測定をおこなう必要がある。

引用文献

- Carey, L. M., & Seitz, R. J. (2007). Functional neuroimaging in stroke recovery and neurorehabilitation: Conceptual issues and perspectives. *International Journal of Stroke*, *2*, 245-264.
- Cicerone, K., Levin, H., Malec, J., Stuss, D., & Whyte, J. (2006). Cognitive rehabilitation interventions for executive function: Moving from bench to bedside in patients with traumatic brain injury. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *18*, 1212-1222.
- Dobkin, B. H. (2004). Neurobiology of rehabilitation. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1038*, 148-170.
- 服部憲明・宮井一郎(2010). 神経画像からみた脳の可塑性 総合リハビリテーション, *38*, 121-127.
- Hoshi, Y., Kobayashi, N., & Tamura, M. (2001). Interpretation of near-infrared spectroscopy signals: A study with a newly developed perfused rat brain model. *Journal of Applied Physiology*, *90*, 1657-1662.
- Julkunen, L., Tenovu, O., Vorobyev, V., Hiltunen, J., Teräs, M.,

- Jääskeläinen, S. K., & Hämäläinen, H. (2006). Functional brain imaging, clinical and neurophysiological outcome of visual rehabilitation in a chronic stroke patient. *Restorative Neurology and Neuroscience*, **24**, 123-132.
- 鹿島晴雄 (1995). 遂行機能障害の評価法－前頭葉機能検査法を中心に－ *Journal of Clinical Rehabilitation* 別冊, 162-167.
- 鹿島晴雄・半田貴士・加藤元一郎・本田哲三・佐久間 啓・村松太郎・吉野相英・斎藤寿昭・大江康雄 (1986). 注意障害と前頭葉損傷 神経研究の進歩, **30**, 847-858.
- 加藤元一郎 (1988). 前頭葉損傷における概念の形成と変換について－新修正 Wisconsin Card Sorting Test を用いた検討－ *慶應医学*, **65**, 861-885.
- 加藤宏之・武田湖太郎 (2009). 画像で見る脳の再構築 総合リハビリテーション, **37**, 699-704.
- Kim, Y.H., Yoo, W.K., Ko, M.H., Park, C.H., Kim, S. T., & Na, D. L. (2009). Plasticity of the attentional network after brain injury and cognitive rehabilitation. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, **23**, 468-477.
- Mainiero, C., Pantano, P., Caramia, F., & Pozzilli, C. (2006). Brain reorganization during attention and memory tasks in multiple sclerosis: Insights from functional MRI studies. *Journal of the Neurological Sciences*, **245**, 93-98.
- 三原雅史・矢倉 一・畠中めぐみ・服部憲明・宮井一郎 (2010). 近赤外光スペクトロスコープを用いたニューロリハビリテーションの評価 *Brain and Nerve*, **62**, 125-132.
- Mimura, M., Kato, M., Kato, M., Sano, Y., Kojima, T., Naeser, M., & Kashima, H. (1998). Prospective and retrospective studies of recovery in aphasia. Changes in cerebral blood flow and language functions, *Brain*, **121**, 2083-2094.
- Muñoz-Céspedes, J. M., Rios-Lago, M., Paul, N., & Maestu, F. (2005). Functional neuroimaging studies of cognitive recovery after acquired brain damage in adults. *Neuropsychology Review*, **15**, 169-183.
- Pizzamiglio, L., Galati, G., & Committeri, G. (2001) The contribution of functional neuroimaging to recovery after brain damage: A review. *Cortex*, **37**, 11-31.
- 柴崎光世・小原健一郎・松本充彦・吉澤未来 (2010). 前頭葉機能の認知リハビリテーションにむけての訓練課題開発の試み－近赤外分光法による検討－ *明星大学心理学年報*, **28**, 1-9.
- Strangman, G. E., O'Neil-Pirozzi, T. M., Goldstein, R., Kelkar, K., Katz, D. I., Burke, D., Rauch, S. L., Savage, C. R., & Glenn, M. B. (2008). Prediction of memory rehabilitation outcomes in traumatic brain injury by using functional magnetic resonance imaging. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, **89**, 974-981.
- Stuss, D.T. (2007). New approaches to prefrontal lobe testing. In B. L. Miller, & J. L. Cummings (Eds.), *The human frontal lobes: Functions and disorders*. New York: The Guilford Press. pp.292-305.
- 横山絵里子・長田 乾 (2004). 失語症の回復と脳機能－PETを用いて－ *高次脳機能研究*, **24**, 209-220.