

光トポグラフィーによる脳機能の計測

渡辺 英寿

要 旨：光トポグラフィー(OT)はNIRSを多点同時計測し、脳機能をマップする手法である。言語優位半球の同定として語流暢課題OTとアマタールテストを比較した27例中85%で結果が一致した。OTで7例の失語症回復期を追跡した。4例では病初期に劣位半球に言語活動があり次第に優位半球に移行。3例は優位半球のみで回復した。酸素吸入でSPO₂を変化させOT計測すると、虚血部位でのOxyHbの増加が遅れ低下する現象がみられ、虚血部位診断が可能であった。

(J Jpn Coll Angiol, 2009, 49: 169-176)

Key words: optical topography, epilepsy, cerebral language dominancy, cerebral ischemia, aphasia

はじめに

脳の活動している状態を生きたまま計測することは、長い間動物でしか行うことができなかったが、近年のテクノロジーの急速な発展に伴って、ヒトにおいても現実的なものとなってきた。その嚆矢はPETである。この技術により、活動しているヒトの脳の動態を外部から観察する方法が開かれ非侵襲的脳機能マッピング法として開花した¹⁾。その後、1980年代にfMRIが臨床応用されるに及んで、非侵襲的脳機能マッピング法は一気に広く用いられるようになった。これらは、いずれも神経活動に伴って起こる局所の脳血流の変化を捉えようとしたものである。本稿で述べる光トポグラフィー(optical topography: OT)は近赤外線分光法(NIRS: near-infrared spectroscopy)²⁾を用いたもので、脳機能を継続的にかつ簡便にマッピングを行う目的で開発された。現在この装置は空間分解能こそ20~30mmにとどまるが、皮膚表面から20mm深部を中心とした大脳皮質³⁾の活動状況をほぼリアルタイムに連続計測することが可能である^{4,5)}。また、脳波計と同じ程度の大きさであり、容易に移動できるので、病室や、診察室などでの計測や、運動中の計測まで可能で、さらに頭部が多少動いても計測できるため、日常的な環境下で作業しているときの脳の活動を観察することができる点に大きな特徴がある。また、brain-

machine interfaceのgate-wayとして、脳と機械の橋渡しの役割も追及され始めた。

光トポグラフィーの方法

光トポグラフィーの計測原理は他稿に譲る。

光トポグラフィーの臨床応用

(1)運動に対する脳活動

指の運動刺激に対する局所脳循環の変化を観察した。われわれの初期の論文⁶⁾から引用する。5人の健康成人を用い、30秒にわたって、一側の母指に対して他指をランダムな順序と速さで対向運動を繰り返させた。10チャンネルのNIRSを用い、各チャンネルで[HbOxy]と[HbR]を記録したところ、Fig. 1のように中心溝を中心として指の運動に同期して[HbOxy]の増加と[HbR]の軽度減少がみられた。下段に示すように、局所脳血液量は指の運動開始直後から上昇し始め、約8秒でピークに達し、運動終了直後すみやかに低下した⁶⁾。この[HbTotal]の増加は脳灌流の増加を意味するが、その分布図をMRI画像上に投射すると、中心溝周辺で局所脳血液量が増加していることが確認される。このように本方法は、時間経過からも空間的配置からも指の運動に伴う神経活動にリンクした信号と考えられる。

このような静かな環境のみならず、歩行中の脳機能を

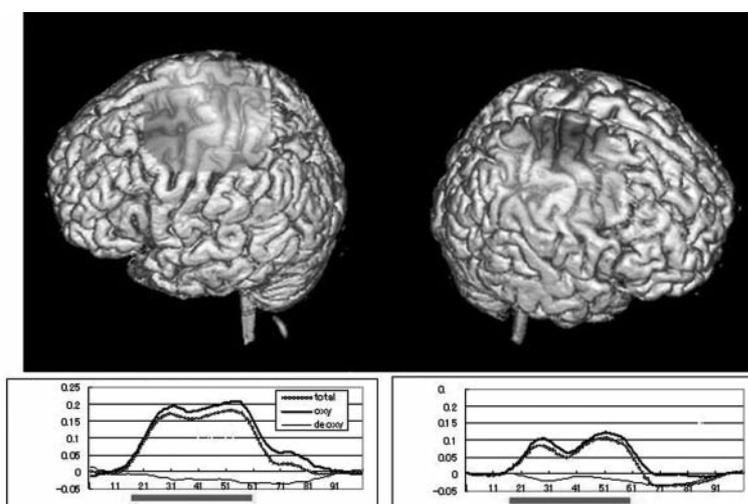


Figure 1 OT during a finger-tapping task on the right. Activities in the left motor cortex were demonstrated.

計測することも可能である。宮井ら⁷⁾はリハビリテーション中にトレッドミル上を歩行しているときの計測が可能であることを報告している。

(2) 言語優位半球の同定

ヒトのさまざまな高次脳機能は言語機能の偏在に深く関連して偏在していることは周知の事実である。したがって、脳外科の手術においては、高次機能の障害を少しでも避けるために手術に先立って言語優位半球を同定することが非常に重要となる。従来は、優位半球を決定するために内頸動脈にアマタールを注入することにより、一過性に当該半球の機能を抑制して、その間の言語機能を観察するアマタールテスト(和田法)が唯一の診断方法であった。しかし、この方法は侵襲的であり、脳塞栓などのリスクを伴うこと、さらにアマタール自体の製造が中止になったことから、最近になり、さまざまな非侵襲的な診断方法による代替法が盛んに検討されている。fMRIはその有力な候補として研究報告があいついでいる。一方でわれわれは、光トポグラフィーをその候補として検討している。

われわれは20人の健常成人を用いて光トポグラフィーの計測を行った⁸⁾。言語タスクとしてはword finding taskを用いた。コンピュータ上に順次一つのひらがなが提示され、これで始まる単語を15秒間にできるだけ多く想起させ、これを筆記するタスクである。手の動きを差し引くために30秒の休止時間には提示される風景画を模写さ

せる。

その一例をFig. 2に提示する。明らかに左下前頭回を中心にタスクに同期した局所脳血液量の増加が認められた。

脳神経外科手術の術前評価としてアマタールテストを行った症例では、光トポグラフィーの結果と対照させたところ27例中約85%の症例でアマタールテストでの優位側と光トポグラフィーでの優位側が一致を示した。

このようにNIRSは非侵襲的に言語優位半球を同定する方法として大変有力な手段と考えられた。

(3) 言語機能回復過程の計測

右利きの98%が左半球に言語優位性を持つことは19世紀のBrocaの言語機能偏在の研究以来ほぼ確定した事実と考えられている。その後、右利きの右半球が言語活動に関していかなる役割を担っているかは古くから多くの関心をもたれている。

われわれは光トポグラフィーを使用して失語症が回復しつつある症例において言語機能を光トポグラフィーで計測し、回復過程における右半球の関与を計測し、その経時的変化も検討している。以下にわれわれの論文⁹⁾からデータを引用する。脳卒中後に失語症となり、回復期に入って、ある程度の言語タスクが可能となった症例17例を対象とした。症例の詳細をTable 1に示した。年齢は40歳から74歳で男性12例女性5例である。12例は左前頭葉脳梗塞で、5例は左前頭葉を含む脳内出血である。

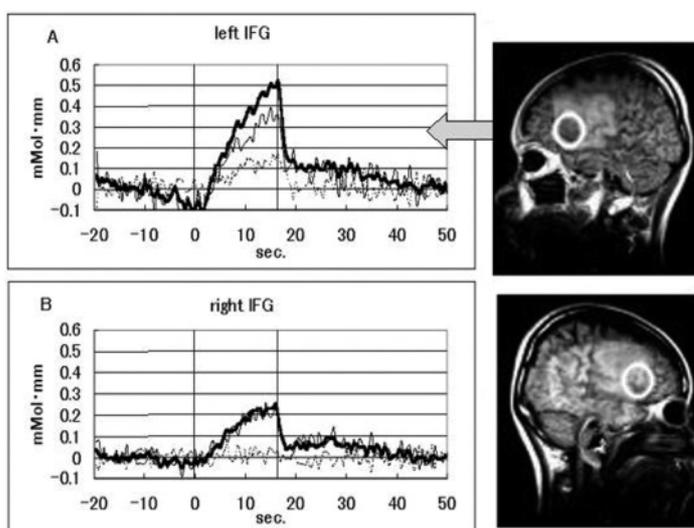


Figure 2 OT during word-finding tasks in a right-handed healthy volunteer. Activation in the Broca's area is seen.

Table 1 光トポグラフィーで計測した失語症症例の言語タスクに対する反応

年齢	診断	発症後の月数	左半球	右半球
56	CI	1	-1	0
61	CI	40	-1	-1
48	PH	3	-1	0
74	CI	5	-1	0
58	CI	48	0	1
57	CI	1	0	1
70	SCH	18	0	1
47	SCH	2	0	1
70	SCH	30	0	1
54	CI	48	0	1
67	SCH	2	0	1
59	CI	9	0	-1
40	SCH	13	0.5	0
63	SCH	10	0.5	0
71	CI	60	0.5	0
70	SCH	36	1	0
71	CI	8	1	0

CI: 脳梗塞, SCH: 皮質下出血, PH: 被殻出血

左半球, 右半球の列はそれぞれの半球で言語タスクに対する反応が明確にあった場合を 1, 反応が小さくあった場合を 0.5, Hbが減少する異常反応を -1 と表示した。

全例SLTAで言語機能の評価を行い, さらに, 光トポグラフィーによる言語賦活計測を行った。このうち 7 例では光トポグラフィーを複数回計測した。まず代表的な症例を提示する。

70歳男性。左側頭葉から頭頂葉にかけての皮質下出血で発症し血腫が大きくないために保存的に加療した。発症時から全失語を示した。その後急速に失語は回復し, 6 カ月後には軽度障害となり, 11カ月後にはさらに改善した。このとき本人は発語に多少のもどかしさを感じる程度まで改善していた。1.5年目に光トポグラフィーを行ったところ**Fig. 3A**のように右の前頭葉中前頭回を中心に言語刺激に際して強い活動が認められ, 左にはほとんど活動がみられなかった。2.5年目の光トポグラフィーでは**Fig. 3B**のように右前頭葉に活動がみられたが, 同時に左前頭葉にも広い範囲に軽度の活動がみられた。3年目には**Fig. 3C**のように既に患者自身も発語に不満がなくなっており, 言語リハビリテーションを終了とした。33カ月目の光トポグラフィーでは左に下前頭回に健常の活動とほぼ同様の強い活動がみられた。右は前頭葉に軽度の活動はあるものの1.5年目の時点に比べて低下し, さらに明らかな局所的な活動とはいえない状態となった。この症例では, 失語症回復初期には右前頭葉が活動し, 失語の回復とともに次第に左前頭葉に切り替わっていく様子が観察された。

症例の全体を**Table 1** に示す。

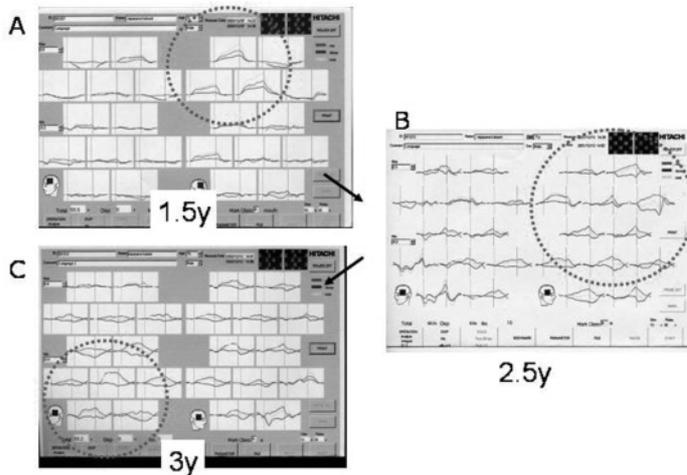


Figure 3 Language OT during the recovery phase of aphasia.

A: 1.5 years after stroke. Activations in the right hemisphere.

B: 2.5 years after stroke. Activation in the right.

C: 3.0 years after stroke. Area of activation switched to the left side.

17例すべての症例で光トポグラフィーで左右いずれかの前頭葉に何らかの言語活動が認められた。

観察された活動は大きく以下の3つのパターンに分けられる。

パターン1：左下前頭回に活動がみられる。

パターン2：左前頭葉に言語刺激時に一致してヘモグロビンが低下する異常な反応がみられる。

パターン3：右前頭葉に活動がみられる。

これらの3つのパターンが時期と症例とを異にしてさまざまな程度で出現した。

まず、7例では、いずれかの時期に言語刺激時にヘモグロビンが低下する異常な反応(パターン2)を示した。このうち光トポグラフィー計測を繰り返した3例では全例で後続の計測で正常な上昇方向の反応(パターン1)に改善した。

すべての時期を通して一回でも右に活性(パターン3)が認められたのは7例である。このうち4例ではその後の計測で左(パターン1)に移行した。3例は一回の試行のみであり、その後の変化は不明である。いずれにしても、複数回計測したものではすべて左(パターン1)に移行している点が注目される。

光トポグラフィーを複数回計測した症例：

左のみに活動があり、これが正常に改善したのが3例。正常復帰した時期は3, 7, 10カ月であった。4例では右から左へ活性が移行した。移行の時期は5カ月, 30カ月, 50カ月以降, 60カ月以降であった。

この検討では、光トポグラフィーを計測することにより、失語症の回復期に言語活動が脳のいずれの部分に生起するかが観察できたが、言語刺激時にoxyhemoglobinが低下するという健常ではあまりみられない反応が比較的多くみられた点、右前頭葉に言語活動がみられる点の二つが特徴的な所見であった。右半球にみられた言語活動に関しては検討すべき点が多い。脳卒中後に生ずる失語症の回復を支えている脳内機序は古くから関心を呼んでいる。その機序は大きく分けて①左半球言語領域そのものの機能回復、②左半球言語周辺野の代償、③右半球による代償の3つが考えられている。特に③の右半球の機能代償に関しては19世紀から数々の症例が報告されており、失語症回復における劣位半球の関与は多くの研究がある。言語機能が再獲得される機構には多くの仮説が提案されている。前述のようにその機序として①左半球言語野の機能回復、②左半球言語周辺野の代償、③右半球による代償の3つであるが、今回われわれが光トポグラフィーで計測した結果では、これら3つのパターンはいずれもほぼ同じ頻度で起こっているように考えられる。また、この3つのパターンは症例による差のみならず回復過程の時期によっても移り変わっていくことが確認された。さらに、検討した範囲では、マッピング以外の症状からこれらの3つのパターンを区別しうる可能性は見出せなかった。さて、このように言語回復における右半球の関与は約30%の症例で起こると考えられる。近年では、左半球損傷で失語となり、回復過程にあ

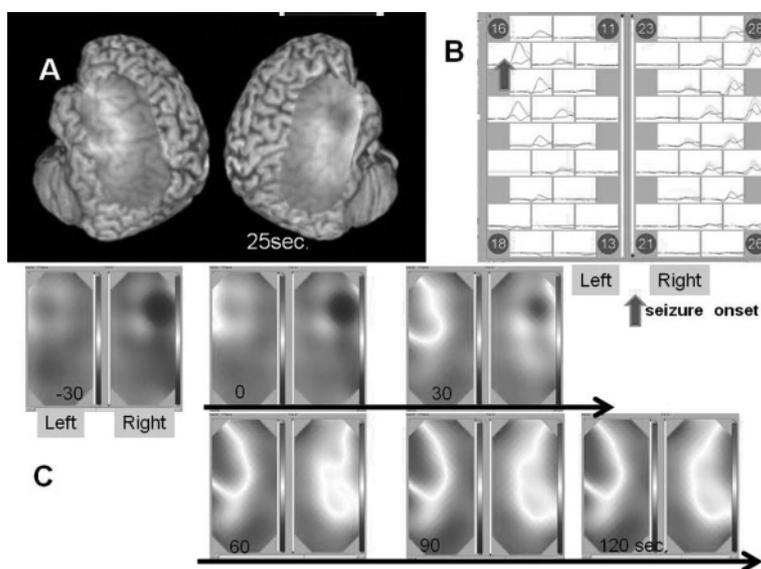


Figure 4 OT during a seizure in a patient with left temporal focus.

A: OT map 25 sec. after seizure onset was overlaid on the 3D-MRI. Activation in the left temporal lobe is shown.

B: Time course of OT.

C: Serial OT map.

る3症例に対して、アミタールテストを行った報告がある¹⁰⁾。左頸動脈にアミタールを注入しても、失語症の悪化はみられず、右頸動脈に注入されたとき3例中2例で明らかな発話停止が観察された。この2例では右半球が言語機能を主として代償していることが示唆される。このように、失語回復期に非優位半球が強く活動している事実は、失語回復の脳内機序の解明に寄与するものと考えられる。また、スピーチセラピーのモニタリングにも有用であると考えている。

(4) てんかん焦点の同定

薬剤によっても発作が抑制されないいわゆる難治性のてんかんはしばしば焦点切除の対象として検討される。このために最も重要な焦点の診断は、脳波が中心とされ、中でも頭蓋内電極を用いた脳波モニタリングが最も信頼できる方法とされている。しかし、頭蓋内電極法は脳全体をカバーすることができないため、電極をまず適切な位置におくことが前提となる。また、侵襲的であることも大きな欠点で、侵襲がより少なく、広い範囲の俯瞰ができるマッピング法を行って、疑いのある領域を絞り込んだ後に頭蓋内電極を留置することが必要となる。1980年代に入って、発作間欠期にPETで焦点が低代謝領域として観察されることが知られるようになり、てんかん診断における非侵襲マッピング法の先駆けとなった。そ

の後、同様の低代謝・低灌流がSPECTでも観察されることが知られるようになり、より一般化した。しかし、発作間欠期に低代謝を示さない症例も30%弱にみられ、逆に、発作時には焦点部位で局所脳血流が増加することがPETで発見され、これを利用して発作時のSPECTが盛んに使われるようになった。しかし、発作時SPECTは一つの時点での計測しかできないために、発作が既に全般化していたりするなど観察の時点を誤ると診断が正しくできない場合も多々ある。光トポグラフィーは、経時的な観察ができるマッピング法であり、このような急激に変化する血行動態の観察には最適な手法である。われわれの体験した19例における、SPECTと同時に光トポグラフィーで計測した症例を提示する¹¹⁾。最終的には深部脳波モニタリング、MRI、発作時SPECTなどにより、17例は側頭葉、2例は頭頂葉に焦点が確認された。全例において光トポグラフィーで、発作後5~10秒で局所的な血液量の増加がみられ、増加部位は側頭葉てんかんでは焦点側の側頭葉に、頭頂葉てんかんでは焦点位置を中心とする部位に一致していた。増加の持続時間は平均78.2秒であった。残る1例では、NIRSで局所的な血液量の増加が認められなかったが、深部脳波もSPECTも明確な左右差を示さなかったため、手術を行わなかった。典型的な症例を提示する。症例は25歳の男性である。突然動作が止まり宙を見つめる複雑部分発作を繰り返し、薬剤

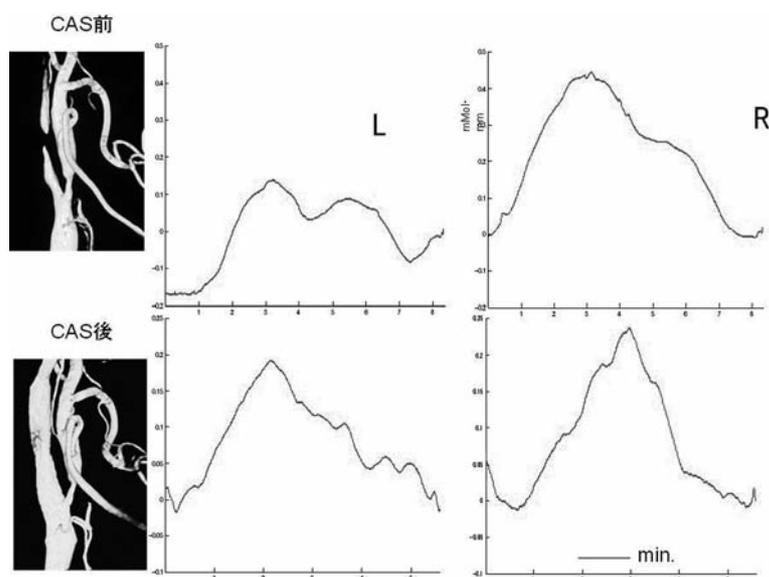


Figure 5 O₂-inhalation OT in the patient with carotid stenosis before and after the stent surgery.

で抑制できない。しばしば二次性全般化が認められる。MRIでは左海馬の軽度の委縮像がみられた。難治性のため外科治療目的でわれわれの施設に紹介された。Fig. 4Aは発作時のNIRSマッピング(発作開始後25秒の時点でのマップ)であり、Fig. 4Bはその経時変化である。左右側頭葉に血液量の増加が起こっているが、よくみると左が60秒先行している。Fig. 4Cはその経時的なマップであるが、血流増加がまず左側頭葉で先行して起こり、ついで右側頭葉が増加しているのが明らかである。よって左側が焦点側と判断される。これはさらに深部電極でも確認され、左扁桃体海馬摘出術を行い、術後発作は消失した。

さて、この方法の理論的な裏づけであるが、てんかん発作時に焦点を中心に局所灌流が増加することはHorsleyによって初めて指摘されている。彼は発作中の脳表血管が拡張することを目撃したのである。この推測は、その後、PET検査中に偶然起こった発作が観察されて初めて実証された。発作中の脳局所血液分布のパターンがどのようになっているかについては解明すべき点が多いが、その後多数行われた発作時SPECTの所見では少なくとも焦点近傍の局所血流が増加することは明らかで、診断的な価値は大きいと考えられる。

(5)脳虚血の診断

次に光トポグラフィーを脳虚血の診断に応用する試み

を紹介する。光トポグラフィーの最大の欠点は絶対値計測ができない点であり、このため、虚血の部位診断は基本的には無理と考えていた。しかし、酸素化ヘモグロビンをトレーサーとしてdiffusion studyを行うと、虚血の部位診断は可能となりつつある¹²⁾。

現在、脳虚血患者に対する脳血流の評価は、SPECTや脳血管撮影等の方法で行われている。しかしこれらの従来の検査方法は、検査時間が長い、検査中に患者の拘束度が高い、リアルタイムに測定できない、患者を病室から検査室まで移動させなければならず重症患者では検査し難い、緊急時に即座に対応できない、設備が大掛かりで高額である等の多くの欠点がある。この点、光トポグラフィーは、簡便で被験者に無侵襲非拘束であること、ベッドサイドで繰り返し測定が可能であることなどの利点があり、虚血診断ができれば大きな臨床上的メリットがある。

光トポグラフィーを両側の前頭・側頭部を覆うように3×5のプロープ(一側24チャンネル)で左右に一つずつ配置した。患者に座位あるいは仰臥位で酸素マスクを装着し、圧縮空気を送気しておき、光トポグラフィーの測定を開始する。データが安定したところで圧縮空気から瞬時に純酸素へ切り替える。2分後に再び酸素から圧縮空気に切り替える。手指で末梢の酸素飽和度(SpO₂)を同時に測定する。これによりSpO₂は台形波状に変化するが、

それに伴う脳組織中のoxyhemoglobinの濃度変化を光トポグラフィーで測定してSpO₂と比較すると、虚血部位にはSpO₂の波形が伝播しにくいことを突き止めた。この点を主成分解析を行って、SpO₂波形に近い波形成分の重み値マップを作成すると、虚血の程度がマップされることが分かった。この方法の検証のために、虚血症例を用いてIMP-SPECTの所見と比較検討した。頸部内頸動脈狭窄症例で、頸部内頸動脈ステント留置術(CAS)を施行した症例についてCAS前後でSPECTと光トポグラフィーの所見を比較したところ、SPECTではCAS後に著明な血流の改善効果を認め、光トポグラフィーでもCASを行った側で酸素投与に伴うoxyhemoglobinの増加の速さやピークの高さがCAS前と比較して増加し、主成分分析では全例で重み値の改善を認めた。

代表例を提示する。73歳男性。脳血管撮影にてFig. 5のような左側頸部内頸動脈狭窄を認め、SPECTでは左大脳半球の広範囲に著明な血流の低下を認めた。血流低下が著明な左側に対してCASを施行した。CAS後、SPECTにて左側の血流の著明な改善を認めた。この症例の光トポグラフィーの結果をFig. 5に示す。酸素吸入による光トポグラフィーでは、CAS前は左大脳半球において酸素吸入に伴うoxyhemoglobinの上昇が対側と比べて遅延しピークも低かったが、CAS後は左側において酸素吸入に伴うoxyhemoglobinの上昇が増し、CAS前にみられたoxyhemoglobinの上昇の左右差はCAS後にはみられなくなった。これらの所見はCAS後にSPECTで患側の血流改善がみられた所見に一致した。今回試みた虚血の測定方法は、従来の生理的刺激を行って脳血液量変化を調べる方法とは異なり、安静時に酸素をパルス状に投与することによって脳組織中のoxyhemoglobin濃度が変化する状態を計測するもので、脳組織への酸素運搬および拡散の効率の違いを検出しようとする方法である。今回の方法はいわばoxyhemoglobinを標識物質として用いる拡散計測法と位置づけられる。虚血により酸素の運搬・拡散が低下した脳組織においては、oxyhemoglobinの増加の程度が低く、かつ時間的にも遅延するために、SpO₂波形にマッチさせた主成分の重み値は健常部分で高く、虚血部分では低くなるものと考えられる。今回の解析で脳虚血と判定した部位とSPECTの所見が一致したのは76.7%であり、実用レベルの検出率であると考えられる。

さて、光トポグラフィーは頭皮を経由してhemoglobinの計測を行っているため、経路する頭皮部分の血液量変

化や酸素化率の影響は避けられない。今回観察した結果も、外頸動脈系の成分の混入の可能性をどこまで排除できるかが重要な観点である。CASの症例では、血流が改善すると期待されるのはCASが行われた内頸動脈系の血流のみであり、外頸動脈系の血流は変化しないはずである。したがって、CAS前後での光トポグラフィーの所見の差は、内頸動脈の血流変化に由来するものであり、外頸動脈系の血流変化の影響はないものと考えてよいと思われる。

酸素投与を用いた光トポグラフィー測定により、脳虚血部位の同定、脳虚血の程度の評価が可能であると考えられ、脳虚血診断の一助となることが示唆された。ただし、本方法では、左右差と部位差を知ることができるが、定量的な計測ができない点に今後解決すべき問題が残っている。しかし、脳虚血が急速に変動する急性期において、ベッドサイドで簡便・迅速・無侵襲に繰り返し計測できる本方法は臨床的に極めて有用と考えられた。

光トポグラフィーの問題点と将来

近赤外線マッピング法の最大の問題点は赤外線の入射から受光までの光路長が不明な点である。さまざまなシミュレーションが行われているが、いずれも、皮膚や頭蓋骨の散乱係数が不明であることなどから不確定の要素が大きく、未だに信頼に足る光路長を得る方法がない。したがって、得られるデータはあくまでも相対的な変化であり、絶対値としての数値ではない。このことから、各チャンネルを直接比較することや、プローブ付け替えをばさんだ非連続なデータを直接比較することなどにある程度の論理的飛躍を認めざるを得ない。しかし、現在までの実測データをみる限り極端な非合理性はないように思われる。今後も引き続き検討が必要である。

光トポグラフィーの利点は① 手軽に ② 非侵襲的に ③ どんな姿勢でも計測できる点であり、てんかん発作中の計測などをはじめ幅広い臨床的な場面で使用することが可能である。また、金属を排除する設計も容易なので、fMRIやMEG計測中に並行して計測することも可能で、モダリティー間のデータを対比させて、生理的現象の解明に役立っている。特にfMRIとの同時計測は、fMRIで観察している現象の解明に今後大きなインパクトを与えるものと期待されている。

文 献

- 1) Fox PT, Mintun MA, Raichle ME et al: A noninvasive approach to quantitative functional brain mapping with H₂ (15) O and positron emission tomography. *J Cereb Blood Flow Metab*, 1984, **4**: 329–333.
- 2) Chance B, Zhuang Z, UnAh C et al: Cognition-activated low-frequency modulation of light absorption in human brain. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 1993, **90**: 3770–3774.
- 3) McCormick PW, Stewart M, Lewis G et al: Intracerebral penetration of infrared light. Technical note. *J Neurosurg*, 1992, **76**: 315–318.
- 4) Maki A, Yamashita Y, Ito Y et al: Spatial and temporal analysis of human motor activity using noninvasive NIR topography. *Med Phys*, 1995, **22**: 1997–2005.
- 5) Villringer A, Planck J, Hock C et al: Near infrared spectroscopy (NIRS): a new tool to study hemodynamic changes during activation of brain function in human adults. *Neurosci Lett*, 1993, **154**: 101–104.
- 6) Watanabe E, Yamashita Y, Maki A et al: Non-invasive functional mapping with multi-channel near infra-red spectroscopic topography in humans. *Neurosci Lett*, 1996, **205**: 41–44.
- 7) Miyai I, Yagura H, Hatakenaka M et al: Longitudinal optical imaging study for locomotor recovery after stroke. *Stroke*, 2003, **34**: 2866–2870.
- 8) Watanabe E, Maki A, Kawaguchi F et al: Non-invasive assessment of language dominance with near-infrared spectroscopic mapping. *Neurosci Lett*, 1998, **256**: 49–52.
- 9) 渡辺英寿, 室田由美子, 中島千鶴: 近赤外線光トポグラフィーを用いた失語症回復過程の計測. *高次脳機能研究*, 2005, **25**: 215–223.
- 10) Kinsbourne M: The minor cerebral hemisphere as a source of aphasic speech. *Arch Neurol*, 1971, **25**: 302–306.
- 11) Watanabe E, Mayanagi Y: Non-invasive Cerebral Blood Volume Measurement During Seizures Using Multi-Channel Near Infrared Spectroscopic Topography. *J Epilepsy*, 1998, **11**: 335–340.
- 12) 海老原彰, 田中裕一, 渡辺英寿 他: 酸素吸入光トポグラフィーによる脳虚血診断法の開発. *BRAIN and NERVE: 神経研究の進歩*, 2008, **60**: 547–553.

Measurement of Brain Function Using Near Infrared Optical Topography

Eiju Watanabe

Department of Neurosurgery, Jichi Medical University, Tochigi, Japan

Key words: optical topography, epilepsy, cerebral language dominancy, cerebral ischemia, aphasia

Optical topography (OT) is a method used to measure brain functions noninvasively. It utilizes multichannel near infrared spectroscopy to map the local hemodynamic changes in the cerebral cortex. It offers a local blood volume increase that correlates to the focal brain activities. We applied this method in various clinical examinations. Several clinical examples are demonstrated.

Language dominancy: During a word generation task, OT showed an increase in oxy-hemoglobin concentration in Broca's area. OT and Amytal test are compared in 27 cases. In 85% of cases, the two methods showed the same results.

Recovery from aphasia: Seven cases with aphasia were longitudinally monitored by language OT. Four cases showed right side dominancy at the initial stage of recovery, but the dominant side switched to the left in the later stage. Three cases showed activations only in the left hemisphere.

Epilepsy focus diagnosis: In the initial phase of epilepsy seizures, OT demonstrated an oxy-hemoglobin increase in the focus side, which suggests the location of the epilepsy focus.

Cerebral ischemia: We let the patient inhale pure oxygen during OT measurement. Systemic SPO₂ increases after pure oxygen. The ischemic area showed a delayed and lowered increase of oxy-hemoglobin compared to the healthy areas. This finding suggests the usefulness of OT in the diagnosis of cerebral ischemia. (*J Jpn Coll Angiol*, 2009, **49**: 169–176)

Online publication July 24, 2009

脈管学 Vol. 49 No. 2