

# 水浸ストレスによるうつ病ラットにおける鍼刺激の影響

天春 希水

医療科学専攻

(指導教員：石田 寅夫)

キーワード： 鍼灸, うつ病, 水浸ストレス, 百会, 印堂

## はじめに

精神疾患により医療機関に罹っている患者数は、近年大幅に増加しており、平成 23 年には 300 万人を超えている。その内訳は多いものからうつ病、統合失調症、不安障害、認知症などである。うつ病患者の大部分は抗うつ病治療薬または電気痙攣療法により症状が改善する。しかし、抗うつ薬の副作用が著しく、また薬の効きが遅いと言われている。うつ病に対する研究は動物を用いた基礎研究レベルでも進められている。うつ状態の動物として回避及び逃避が不可能な水槽内における強制水泳試験、比較的強度の強い物理的なストレス刺激である慢性緩和ストレスなどがある。その中で慢性緩和ストレスにより作製したうつ状態のラットを用いた鍼灸に対する研究では、百会穴、百会穴+印堂穴、百会穴+三陰交穴などの経穴に一定の周波数もしくは異なった周波数を交互に鍼通電を行っており、各々の経穴でうつ状態の改善効果が認められる。

## 目的

我々は、1) 軽度なうつ状態のラットの作製法の開発、2) 鍼通電ではなく置鍼による刺激が抗うつ薬と同様にうつ状態を改善する効果を示すか否かについて行動評価と生化学的方法により解析を行う。

## 方法

実験 1：軽度なうつ病ラットの作製法の条件検討実験。4 週の雄ラットを用いて水浸ストレスを各々 1 週間、2 週間、3 週間、4 週間と曝し、その後通常の状態で飼育した。飼育ケージ中にはラットの足首までの高さに対応する水を入れ、昼間は午前 10:00～午後 10:00、夜間は午後 10:00～翌日の午前 10:00 の各々 12 時間のストレスを与えた。行動評価として抗うつ薬の薬効評価系の一つである強制水泳試験を行った。これは、円形の水槽内に水を入れ、13 分間強制的に泳がせ、始めの 3 分を除く残り 10 分の無動時間を測定する試験である。実験 2：置鍼による刺激及び薬物の効果を行う実験。夜間の水浸ストレスを行い、その後、置鍼による刺激もしくは抗うつ薬を 3 週間処理し、週毎に採血して血清を回収した。置鍼及び薬物の効果を行う実験群として、1 群 15 匹ずつの「ストレス無群（水浸ストレス無+固定による拘束ストレス無+生理食塩水）」、「固定のみ群（水浸ストレス無+固定による拘束ストレス有+生理食塩水）」、「水浸ストレスのみ群（水浸ストレス有+固定による拘束ストレス無+生理食塩水）」、「水浸ストレス+固定群（水浸ストレス有+固定による拘束ストレス有+生理食塩水）」、「水浸ストレス+置鍼群（水浸ストレス有+置鍼（固定による拘束ストレス有）+生理食塩水）」、「水浸ストレス+抗うつ薬群（水浸ストレス有+固定による拘束ストレス有+抗うつ薬）」の 6 群で行った。置鍼部

位は百会穴と印堂穴、置鍼の深さは5mm、置鍼時間は20分で置鍼にて行い、置鍼の間は固定した。抗うつ薬として生理食塩水に溶解したイミプラミン (Imipramine) (10mg/kg BW) を腹腔内投与した。行動評価系として、強制水泳試験による無動時間の測定、不安の評価系であるホールボード試験を行った。このホールボード試験は、床に空いたケージ (新規環境) にラットを5分間入れ、ヘッドディップ回数を測定する。さらに採取した血液を用いてストレスで変動するホルモン濃度を生化学的方法で測定した。

## 結 果

「水浸ストレスのみ群」では、水浸ストレスをかけた1週間の体重増加が認められないが、ストレス終了後は順調に増加し、「ストレス無群」の水準まで体重の回復傾向が認められた。一方、「固定のみ群」では、固定を開始して1週間以上経過し始めると体重の増加が徐々に低下し始めた。また、「水浸ストレス+固定群」、「水浸ストレス+置鍼群」や「水浸ストレス+抗うつ薬群」の体重は、「水浸ストレスのみ群」と同じように変動するが、「ストレス無群」までの体重の回復傾向は認められなかった。強制水泳試験において、水浸ストレスに1週間曝すことにより無動時間が増加し、さらに水浸ストレス終了1週間後でも増加が認められた。一方、「固定のみ群」では、固定を開始しても強制水泳による無動時間の増加は認められなかった。そして、「水浸ストレス+置鍼群」及び「水浸ストレス+抗うつ薬群」では、水浸ストレス後及び「水浸ストレス+1週間の固定有・無群」よりも無動時間の増加が有意に抑制された ( $p < 0.01$ )。ホールボード試験において、全群の水浸ストレス前と水浸ストレス後及び「水浸ストレスのみ群」では、ヘッドディップ回数に変化は認められなかった。そして、「固定のみ群」、「水浸ストレス+置鍼群」、「水浸ストレス+抗うつ薬群」では、各処理の期間に依存してヘッドディップ回数が水浸ストレス後よりも有意に減少することが判明した ( $p < 0.01$ )。「水浸ストレス+置鍼群」においては、ヘッドディップ回数に減少傾向であるが、有意差は認められなかった。血清コルチコステロ

ン濃度は、「固定のみ群」では、期間 (週) 依存的に有意に増加した。「水浸ストレスのみ群」の血清コルチコステロン濃度は、水浸ストレス1週間後さらにその後1週間まで増加してその後減少した。当該濃度は、「水浸ストレス+固定群」では、水浸ストレス1週間後さらに固定後1週間まで増加したが、「水浸ストレス+置鍼群」や「水浸ストレス+抗うつ薬群」では、水浸ストレス1週間後まで増加し、その後はほぼ停滞した。

## 考 察

水浸ストレスに曝すことによりラットの体重の増えが見られなかったのは、このストレスにより摂食量が減少したこと、また胃潰瘍を発症させていることから推察されるので消化及び吸収の機能が低下していることが原因であると考えられる。強制水泳試験の結果から、「水浸ストレスのみ群」では、水浸ストレス後1週間の間まで無動時間が増加してその後減少した。一方、「固定のみ群」では、固定を開始しても強制水泳による無動時間の増加は認められなかった。しかし、「水浸ストレス+固定群」では、「水浸ストレスのみ群」と比較すると無動時間に僅かであるか増加した。これは、水浸ストレスと固定によるストレスの両方が重なったことにより僅かであるがうつ状態を悪化させた可能性が考えられる。そして、水浸ストレスにより誘発したうつ状態のラットは抗うつ薬や百会穴と印堂穴の両穴を刺激することで処理すると無動時間が減少した、つまり、うつ状態が改善されることが判明した。不安状態を評価するヘッドディップの回数は、「固定のみ群」、「水浸ストレス+固定群」と「水浸ストレス+抗うつ薬群」で減少したので、置鍼を行うための固定により不安状態を起させることが分かった。また、抗うつ薬は不安状態を改善できないことが分かった。一方、置鍼した百会と印堂が不安状態を僅かであるが改善させる傾向が見られたが、体重の変化の結果を含めて考えると、この2つの経穴には不安を改善させる効果は認められないと考えられる。

## 結 論

今回は、1) 軽度のうつ状態のラットの作製方法を水

浸ストレスにより開発した。2) このラットを用いて、百会穴と印堂穴へ鍼通電ではなく置鍼による刺激により、抗うつ薬と同様にうつ状態を改善することが明確に判明した。この水浸ストレスは脳内の酸化ストレスが増加し

HPA系が活性されることにより海馬の神経細胞への障害を引き起こされるが、その機構に置鍼による刺激が作用してうつ状態を改善する可能性があると考えられる。

# 透過光光電脈波法による歯髄脈波信号の検出と 信号処理に関する基礎的検討

井本 勝久

医療科学専攻

(指導教員：大内 克洋)

## はじめに

歯科領域において、歯髄の状態を把握することは治療方針の決定や治療効果のモニタリングをするうえで、重要である。現在は歯表面から電気や温熱などの物理的的刺激を与え、刺激に対する反応（痛みや温感）の有無により歯髄神経の生死を判断する感覚診が主流となっている。しかし、患者の感覚に頼る検査手法であるために再現性が乏しいことや侵襲性が有ること、歯髄血流の有無ではなく神経バイタルを対象とした検査であることで必ずしも歯髄バイタルと一致していないことなどの問題点がある。

感覚診の問題点をクリアできる診断手法の確立のため、現在は歯髄内血流の有無を計測する歯髄脈波計測手法が研究されている。中でも透過光による歯髄脈波計測法は非侵襲的であり、連続計測が可能であり、かつ歯周辺組織の影響を受けにくいメリットがある検査方法であり、歯表面から光を入射し、透過光を反対側の歯表面で受光することで、赤血球によって吸光された結果、透過する光の強度を計測する。透過光光電脈波法による歯髄脈波診断の計測原理は容積脈波法であり、心周期に合わせた血管内径の変化から対象とする末梢血管内の赤血球数が変化し、光の吸光度変化が生じることで脈波計測され、先行研究にてその有効性が示されている。

歯髄脈波診断は現在の主流計測手法である感覚診の

問題点を解決する手法となりうることが示唆されているが、そもそも歯髄内血管が極細であり歯髄内血流が少ないことにより信号の S/N 比が小さいことや計測に適したプローブの開発、測定波長により異なる信号特徴の把握など計測手法の確立にはいくつかの課題が存在する。

## 研究目的

本研究では 7 種の異なる光源波長による永久歯の歯髄脈波計測を行い、脈波信号抽出のための信号処理法の有効性を検討するとともに、計測した信号から Optical Density（組織透過光強度、以下 OD）、脈波振幅、AC/DC 及び S/N 比を算出し光透過特性を検討することで、歯髄脈波診断に有効な歯髄脈波計測法に関する基礎的な知見を得ることを目的とする。

## 方法

被験歯（上顎中切歯：左 L1 及び右 R1、健常成人男性、それぞれ 1 例）に対し 7 種の異なる中心波長を持つ LED（470, 530, 574, 590, 612, 625, 628nm）よりそれぞれ照射し、透過した光を APD（Avalanche Photo Diode, C10508, 浜松ホトニクス）にて受光した。また、LED の駆動電圧（ $V_{LED}$ ）を増減させることで、入射光量を変化させデータ計測を行った。計測信号に同期加算平均処理を行うためのトリガとして使用する指尖脈波信号の計測にはフィンガプローブ（TL201T1, 日本光電）

を使用した。測定に使用した装置のブロックダイアグラムを図1に示す。信号処理はデータフロー型プログラミング言語であるLabVIEW(National Instruments Corp.)にて開発したプログラムを用い、同期加算平均処理を適用してS/N比の改善と脈波信号の抽出を行った。

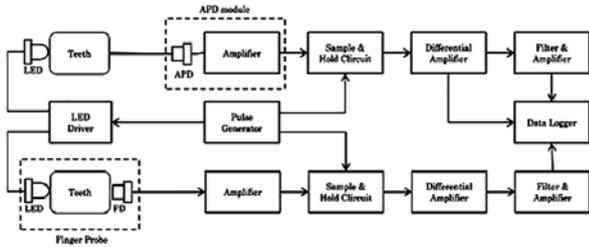


図1. 計測システムのブロックダイアグラム

入射光量 ( $P_i$ [W]) と透過光量 ( $P_o$ [W]) との比率により組織内での光の減衰の度合いを示す指標であるODは、下式により求められる。OD値が小さいほど、組織内での光の減衰量が多いことを表す。

$$OD[dB]=10\log_{10} (P_o/P_i)$$

また、信号は直流 (DC) 成分と脈波振幅を示す交流 (AC) 成分が含まれている。AC/DCは各成分強度の商により、得られた信号の中に含まれる交流成分の割合を示す指標である。

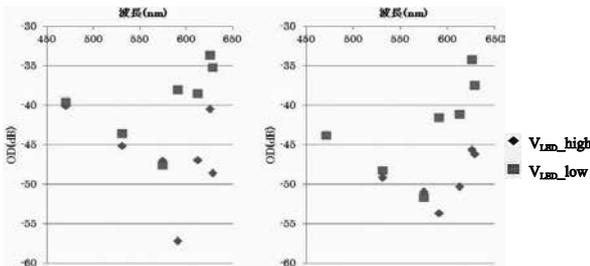


図2. ODの波長依存性

## 結果及び検討

7種のLED照射によるODの波長依存性を図2に示す。最も減衰量が少ないのは、被検歯R1及びL1ともに低いLED駆動電圧(以下、 $V_{LED}$ )を用いた波長625nmの場合であった(L1:-33.6[dB], R1:-34.1[dB])。また、波長が574nmより短い場合には $V_{LED}$ の強度に依存しない傾向が見られた。

加算平均処理(回数:32)後の脈波振幅の波長依存性を図3に示す。最も振幅が大きいのは、被検歯L1及び被検歯R1ともに高い $V_{LED}$ を用いた波長625nmの場合であった(L1:48.83[mV], R1:29.98[mV])。また、波長590nm以下の場合では、 $V_{LED}$ の強度に依らずほとんど振幅を得られなかった。

32回の加算平均を行った脈波のAC/DCの波長依存性を図4に示す。被検歯L1及びR1ともに高い $V_{LED}$ を用いた波長590nmの場合において最大値を示した(L1:48.4%, R1:41.7%)。

加算平均回数(8, 16, 32回)と基準値(加算平均回数8回でのS/N比)に対するS/N比の差分の関係を図5に示す。加算平均回数が増加するにつれS/N比が増加する傾向が見られた。しかし、例外(被検歯

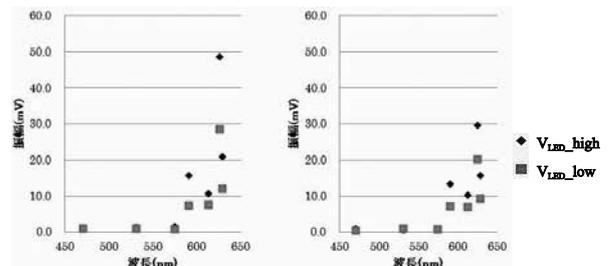


図3. 脳波振幅の波長依存性

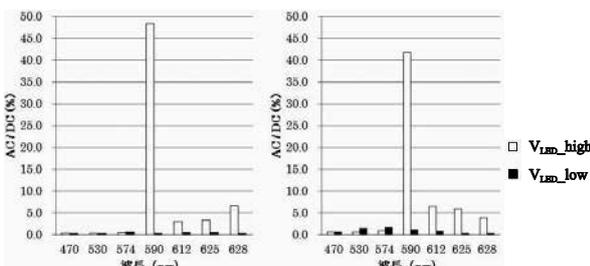


図4. AC/DCの波長依存性

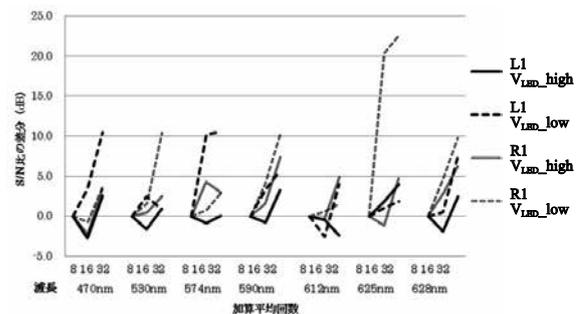


図5. 加算平均回数とS/N比の差分

L1,  $V_{LED\_high}$ , 波長 612nm) もあった。これは安定して歯髄脈波信号を得ることができなかったためと考えられた。

OD や脈波振幅, AC/DC の検討から, 波長 590nm より長い波長を使用した場合には脈波検出の可能性が高いことが示唆され, 加算平均処理回数の増加による S/N 比の増加傾向が見られた場合には安定した歯髄脈波計測が行えたと考えられた。波長 574nm 以下の場合でも加算平均処理回数の増加により S/N 比が増加している傾向が見られたが,  $V_{LED}$  の大小による OD に差異がないことや信号振幅が小さいことから, 脈波計測は困難であると考えられた。

本計測結果より, 波長 590nm より長い (590, 612,

625, 628nm) での脈波検出の可能性の高さが示され, なおかつ長時間の安定した計測により同期加算平均処理が行えた場合において, 脈波の抽出が可能であった。

## まとめ

本研究の成果から, 1) 590nm 以上の波長では, 歯髄腔を透過した脈波情報を含む信号が取れる可能性が高いこと, 及び 2) 同期加算平均法による信号処理が歯髄脈波の抽出と脈波振幅の確認に有効であることが明らかとなった。ただし, 本結果は少ない被検歯数から得られた結果であるため, より多くの被検歯を用いた検討を行う必要があると考えられた。

# 肩こりを含む不定愁訴に対する鍼灸治療効果の評価

## —鍼灸臨床における弁証治療と自律神経機能との相関性について—

鷗木 寛士

医療科学専攻

(指導教員：廖 世新)

### はじめに

自律神経機能が20世紀より鍼灸治療効果を評価する重要な指標として認められている。臨床に应用された指標としては間接的な皮膚温反応、皮膚通電抵抗、心拍数、血圧、サーモグラフィ及び血中カテコラミン濃度などから、次第に解析ソフトを用いる心拍変動解析、その得られた心拍変動解析へ時間軸での自律神経の評価、周波数での自律神経の評価へと発展をしていった。鍼灸分野でも特定の疾患に対する自律神経の評価や特定の経穴への効果などの報告は挙げられているが、実際の臨床で行われる全身の鍼灸効果を評価するのはまだ報告されていない。鍼灸臨床において、肩こりなどの不定愁訴または種々の疾患に伴う不定愁訴を有する患者も多く見られている。その治療方法・効果及び評価基準・指標などは多岐である。不定愁訴に対する鍼灸治療について東洋医学的な「弁証論治」の考えに基づく治療方針が重視されるが、それに関する臨床研究はなお不十分である。

不定愁訴を持つ患者に対する治療効果を高め、QOLを向上させるため、より良い治療方案を開発すると同時に治療効果を検証することは重要である。患者の主観的な評価が自律神経機能にも影響しているなどのことも重要になると考え、非侵襲的に自律神経機能を測定できる指尖加速度脈波器を用いて、自律神経機能を測定、鍼灸治療の効果の関連性に着目した。

### 目 的

「弁証論治」の考え方に応じて、肩こりなどの不定愁訴を訴え、鍼灸治療に通う患者を対象とし、指尖加速度脈波器を用い、自律神経機能を反映する平均心拍数、SDNN、TP、LF、HF、LF/HFなどを評価指標として、鍼灸治療前・治療直後及び治療数日後の変化について測定し、弁証治療の効果及び自律神経機能との相関性を検討し、臨床的に鍼灸治療効果の判定に指尖加速度脈波器による各種指標の測定が意味あるものであることを明らかにすることを目的とした。

### 方 法

#### 1. 実験対象：

無症候群（N群）：本学鍼灸学部で本研究への参加を希望した学生、20名（男性14名、女性6名、20～24歳、平均年齢22歳）。

治療群（A群）：本学付属鍼灸センターに鍼灸治療に通っている不定愁訴を有する患者。22名（男性12名、女性10名、21～78歳、平均年齢46.5歳）。

#### 2. 治療方法：局所選穴と弁証選穴に基づき、伝統的な鍼灸手技を行った。

3. 評価指標：「体調チェックカード」による主要愁訴の辛さの変化および指尖加速度脈波器（YKCグループ社製のPulse Analyzer Plus TAS9（YKC group社、東京）による自律神経機能を表すデータ（HR、SDNN、

CVAA, TP, LF, HF, LF/HF) で評価した。

## 結 果

22 例の肩こり等の不定愁訴を有する患者に対して週に一回、連続 4 週間、計 88 回、鍼灸治療を行った。治療前後において愁訴の改善率は 90% 以上であった。愁訴数の変化も治療毎に減少が見られたが、有意差はみられなかった。一方、時間領域分析 (HR, SDNN など) と一部 (TP) の周波数領域分析では治療後に有意差が見られたが、その他の周波数領域では治療による有意差は見られなかった。

## 考 察

今回我々の研究では治療群となる 22 名の患者は、年齢が 21～78 歳であり差が大きい。また言われた様々な疾患を有する。不定愁訴 (肩こり, 目の疲れ, 腰の痛み, 不安など) と症候 (「腰痛」, 「眩暈」なども治療日によって異なっている。鍼灸臨床にはこのようなケースが少なくないと思われる。それで「弁証論治」の「異病同治」, 「同病異治」に応じる治療することにした。

鍼灸治療の直後に患者から主観的に有効性を覚えられたことが患者に対して心理的に良い影響があつて、自然治癒力を高め、引続きの治療をける前提となると考える。

また一方、HR 平均心拍数の変化では無症候でも治療群でも安静で有意な変化がなかったが、治療群では治療直後、有意差 ( $p < 0.05$ ) が見られることから、鍼灸治療が自律神経機能の調整に関わることができると示唆される。SDNN は人体が自律神経を調整する能力を表す指標であるが、TP は自律神経の全体的な活性頻度を表すものである。その二つ指標 (SDNN, TP) は健康状態、様々な疾患の発症リスクに関連する。SDNN 及び TP では、治療後 (1 日目, 3 回目, 4 回目) では有意に上昇した。鍼灸治療により、全体的に自律神経機能を高めることが分った。

今後の課題として、もっと症例数を増やし、年齢別、疾患別などを分けて更に検討する必要があると考える。

## 結 論

肩こりなどの不定愁訴を有する 22 例患者に伝統的な弁証治療を行い、自律神経機能にて治療効果を評価した。治療直後、患者からの主観的な反応、指尖加速度脈波器による HR, SDNN, TP の変化でよい効果が現れた。指尖加速度脈波器は非侵襲的かつ簡便なもので、それによる各種測定指標で鍼灸効果を評価するに有用であると考ええる。

# 重度な運動障害児の姿勢による自律神経活動の応答について

## —心拍変動と脳血流に着目して—

多田 智美

医療科学専攻

(指導教員：中 徹)

### はじめに

近年、周産期医療をはじめとした新生児医療の進歩、医療機器の性能の向上、在宅介護のための支援システムの整備などが進み、医療的ケアが必要な重い障害の子ども達の在宅生活へのニーズが高まった。その結果、多くの理学療法士が、在宅生活を送る子ども達のリハビリテーションに関わることが求められ、特に姿勢支援は、学校や家庭など日常生活の中で行える指導として普及している。なかでも腹臥位は、呼吸器系に関するパラメータでの改善が報告され推奨されている姿勢だが、循環器系や自律神経系についての報告はほとんどなく、活動的な姿勢か安静的な姿勢かという臨床的意義は解明されていない。また、腹臥位の実施時間や導入方法なども、各理学療法士の個人的な判断に任せられているのが現状である。

### 目的

本研究は、姿勢が、重度な運動障害を有している子どもたちの自律神経活動および脳血流の応答に与える影響について明らかにすることを目的とした。

### 方法

運動障害群は、Gross Motor Function Classification System (以下 GMFCS) による運動の重症度で分類した。運動障害が重度ではない GMFCS I - IV群 (以下 I - IV群)

は、9名 (男性8名 女性1名)  $18.2 \pm 7.7$  歳、GMFCS は I が 3名、II が 1名、III が 3名、IV が 2名、運動障害が重度な GMFCS V群 (以下 V群) は、13名 (男性8名 女性5名)  $13.2 \pm 3.1$  歳であった。対照群は、健常大学生 11名 (男性4名 女性7名)  $20.9 \pm 0.8$  歳であった。仰臥位、腹臥位、前もたれ座位の三姿勢を順不同に各 15 分間保持し、以下の項目について同一日内に測定を行った。

- (1) 心拍の R-R 間隔を周波数解析して得た高周波成分 HF ( $\text{ms}^2$ ) の常用対数  $\log\text{HF}$  を副交感神経活動の指標とし、低周波成分 LF ( $\text{ms}^2$ ) を HF で除した LF/HF を交感神経活動の指標として、POLAR-8000X で測定する。また、自律神経の調整機能の指標として、測定値より心拍変動係数 (CV) を算出した。
- (2) 左前頭部の頭部血流量 (HEG:  $200 \times$  酸化ヘモグロビン / 還元ヘモグロビン) を MediTECK 社製 nIR-HEG にて、測定装置を左前頭部 (FP1: 脳波測定国際 10-20 法による) に設置し測定し、常用対数  $\log\text{HEG}$  を脳血流の指標とした。
- (3) 5 分毎に心拍数 (bpm)、血圧 (mmHg) を測定した。
- (4) 測定は、室内に波音を流すことで騒音 55dB 程度、エアコンで室温  $26^\circ\text{C}$  程度、湿度 50% 程度に環境統制した部屋で行った。騒音は custom 社製デジタル騒音計、温湿度は testo 社製 Mini data logger を使用してそれぞれモニターした。また、安全管理

上, SPO<sub>2</sub> (%) を COVIDIEN 社製パルスオキシメータで測定しモニターした。

データは、以下の方法で検討した。

- ①各パラメータについて、運動障害の重症度ごとの姿勢（仰臥位、前もたれ座位、腹臥位）での比較を行った。
- ②各パラメータについて、姿勢ごとの重症度（対照群、I - IV群、V群）での比較を行った。

統計処理は、それぞれの比較において、Friedman 検定, Kruskal-Wallis 検定を実施し、共に Scheffe 多重比較を用い、有意水準 5% で検討した。

## 結 果

環境統制の結果、運動障害児の環境は、騒音 53.52 ± 7.52dB, 室温 26.09 ± 0.62°C, 湿度 47.86 ± 1.34%, 対照群の測定環境は、騒音 55.56 ± 5.31dB, 室温 28.28 ± 0.21°C, 湿度 58.24 ± 2.03% であり、一定の環境を保つことができた。SPO<sub>2</sub> は一時的な低下はあったがほぼ 96 から 100% であった。

姿勢間の比較では、すべての群において、副交感神経指標 (logHF), 心拍変動係数 (CV), 心拍数, 拡張期血圧の 4 項目で姿勢による差は見られなかったが、交感神経指標 (LF/HF), 脳血流 (logHEG), 収縮期血圧の 3 項目では姿勢による差がみられた。交感神経指標 (LH/HF) では、対照群で前もたれ座位より腹臥位が低かった。I - IV群では仰臥位は前もたれ座位や腹臥位より低かったが、V群ではすべての姿勢において差が認められなかった。収縮期血圧は、対照群では腹臥位で仰臥位よりも低く、I - IV群とV群では腹臥位よりも前もたれ座位で低かった。

重症度の比較では、すべての姿勢において、心拍変動係数 (CV), 収縮期血圧の 2 項目では重症度による差は見られなかった。しかし、副交感神経指標 (logHF), 交感神経指標 (LF/HF), 脳血流 (logHEG), 心拍数, 拡張期血圧の 5 項目では、姿勢による何らかの差がみられた。また、仰臥位では、心拍変動係数 (CV) と収縮期血圧, 拡張期血圧以外は、すべて重症度による差がみられたが、前もたれ座位では、副交感神経指標と脳血流に重症度による差がみられたのみで

あった。副交感神経指標 (logHF) は、仰臥位, 前もたれ座位, 腹臥位のすべての姿勢において対照群はV群より高かった。一方、交感神経指標 (HF/LF) では、仰臥位で対照群および I - IV群はV群より低く、腹臥位で対照群が I - IV群より低かったが、前もたれ座位では重症度による差は見られなかった。心拍数は、仰臥位でV群, I - IV群より対照群が低かった。脳血流は、すべての姿勢においてV群より対照群では低かった。血圧は、拡張期血圧が腹臥位でV群より対照群が低かったが、それ以外の姿勢では重症度による差はなかった。

## 考 察

姿勢間の比較においては、副交感神経指標である logHF では三群ともに姿勢間の差が認められなかったが、交感神経指標である LF/HF は、対照群では腹臥位に比べて前もたれ座位で交感神経が働き、仰臥位と腹臥位では有意差はなかった。先行研究より座位ではあるが、健常者では 60 度ギヤッチアップで交感神経指標が増加するとも言われており、対照群では臥位である腹臥位より頭の位置が高い前もたれ座位で、交感神経の働きが増加したと考える。一方、I - IV群では、仰臥位より前もたれ座位と腹臥位で増加した。これは腹臥位も姿勢の変化を大きな変化としてとらえ自律神経系の調整機能が働いたのではないかと考えた。しかし、V群では、どの姿勢においても自律神経指標の差が認めず、一方、頭の位置が高い前もたれ座位よりも腹臥位で収縮期血圧の上昇が認められた。このことは重症児では自律神経の調整機能が低下し、血圧に影響を及ぼしている可能性があると考えた。

運動障害重症度での比較においては、V群で副交感神経指標である logHF が低く、交感神経指標の結果からも、重症児ではどのような姿勢においても自律神経系の興奮性が高まりやすい可能性が示された。心拍数は、V群は、対照群に比べると仰臥位で有意に高く、かつどの姿勢においても高い傾向を示した。このことから、重症児では、心臓への負担が健常者よりも大きい可能性が考えられた。脳血流では、すべての姿勢において、

V群が対照群よりも多いという結果になったが、今回の研究は安静時の測定であったので、健常者は、どの姿勢でも安静の状態が保たれ、脳活動が抑えられていたと考えられる。

## 結論

今回の研究では、対照群で認められた頭が高位化することによる交感神経の活動の増加が、運動障害が重くなるほど認めることができなかった。また、仰臥位は重

症児にとって、運動障害の重度でない者より交感神経の活動が高まり心拍が高くなり脳血流が増加するなど、興奮性が高まりやすい姿勢であることを示された。仰臥位は、重症児が日常生活において多くの時間とっている姿勢であるが、循環機能の面や呼吸機能の面などの生理的機能の上では不利である可能性がこれらの結果から考えられた。また、重症児ではどのような姿勢においても自律神経系の調整機能は低い可能性があることが示された。

# 脳卒中片麻痺者における機能的電気刺激を用いた 歩行訓練の運動学習効果

前川 遼太

医療科学専攻

(指導教員：畠中 泰彦)

## はじめに

脳卒中片麻痺患者（以下、片麻痺者）の歩行の獲得は社会復帰を目指す上で重要である。歩行の獲得に際し、麻痺側足関節背屈トルクの低下が一つの問題となる。特に遊脚初期における足関節背屈トルクの低下は歩行時の引っかかり（以下、toe drag）の要因となり、片麻痺者はそれを回避するために分回し歩行等の代償歩行を呈する。この現象を運動学習理論より捉え、片麻痺者は代償歩行という新たな異常歩行を運動学習していると推察される。また、代償運動は二次障害につながると報告され、疼痛や関節可動域制限を引き起こす。よって、リハビリテーションではより正常に近い歩行の獲得を目指すべきであり、そのための具体的な介入方法の確立が必要である。

我々は、運動学習理論が成立するならば、片麻痺者が正常歩行を反復することで正常歩行の再学習が可能になると仮説を立てた。仮説の立証は、片麻痺者に対する新しい歩行訓練方法の提案となり、より正常に近い歩行の獲得を可能にすると考える。

足関節背屈トルクの生成には、電気刺激を用いて麻痺筋を収縮させ合目的動作を再建する機能的電気刺激（Functional Electrical Stimulation）に着目した。運動学習理論に基づいた具体的な訓練方法に関しては、反復練習が重要であると報告されている。これらの報告を根拠に先行研究にて健常者の左足関節を底屈位で固定し、

1,000 歩の歩行訓練を実施した。足関節の固定を外し、訓練 1 時間後の歩行は訓練前に比べ足関節背屈角度が減少する運動学習効果を認めた。この結果より、片麻痺者において、より正常な歩行を 1,000 歩反復する歩行訓練は運動学習効果が期待できると考えた。

## 目的

片麻痺者において機能的電気刺激を用いた歩行訓練の運動学習効果を運動学、運動力学的に検討することを本研究の目的とした。

## 方法

対象は、著明な高次脳機能障害を認めない、歩行が自立した片麻痺者 14 例（平均年齢  $62.4 \pm 7.5$ ）とした。主治医の許可の下、対象者に実験の趣旨を十分に説明し文書にて同意を得た。なお、本研究は鈴鹿医療科学大学臨床試験倫理審査委員会の承認を受け実施した（受付番号 121）。

対象者の裸足歩行（以下、訓練前）を計測し、その後、機能的電気刺激（Bioness：NESS L300™）を用いて 1,000 歩の歩行訓練を実施し、訓練中の歩行（以下、訓練中）を計測した。また、訓練直後に裸足歩行（以下、訓練直後）を計測し、その後、訓練終了後座位にて 1 時間休憩し、再度裸足歩行（以下、訓練 1 時間後）を計測した。歩行の速度は至適速度とした。正常歩行において遊脚期では背屈  $0 \sim 5[\text{deg}]$  が必要である

ため、立位にて電気刺激時に足関節背屈が 5[deg] 生成されることを確認した。マーカは両側の肩峰、大転子、膝関節裂隙、外果、第 5 中足骨頭の計 10 か所に貼付した。歩行計測は床反力計 (AMTI: Accu gait) を設置した歩行路を作成し、4 台のビデオカメラを用いて撮影した。床反力計及びビデオカメラはサンプリング周波数 60Hz にて計測した。撮影した映像を 3 次元ビデオ動作解析システム (DKH: Frame-DIAS IV system) にてマーカの空間座標を得た。マーカの空間座標及び床反力データを逆力学解析手法による剛体リンクモデルに生体力学定数とともに代入し、麻痺側股関節、膝関節、足関節の関節角度及び関節トルクを算出した。

運動学習効果において Schmidt は運動学習を巧みな課題遂行の能力を比較的永続する変化に導くような実践あるいは経験に関する一連の過程であると定義した。この運動学習の効果は訓練後に観察される行動から訓練による一時的な効果を除く必要があるとされている。一時的な効果は、練習後、数十分で消えるとされ、運動学習効果の判断には数十分後における運動の観察で十分であると報告されている。以上より本研究では、遊脚初期から遊脚中期における足関節最大背屈角度が訓練前に比べ訓練 1 時間後において増加した場合、運動学習効果が認められたと判断した。また、運動学習効果の認められた群に対し、訓練前と訓練 1 時間後の足関節最大背屈角度、最大背屈トルクの変化を有意水準 5% で Wilcoxon の符号順位検定にて検討した。

## 結 果

運動学習効果が認められたのは 14 例中 6 例であった。発症から約 2 年経過した維持期においても訓練 1 時間後に運動学習効果を認める対象者が存在した。この結果は我々の仮説を一部裏付けるものと考え、効果を認める 6 例に着目した。遊脚初期から遊脚中期における足関節最大背屈角度、最大背屈トルクは訓練前 ( $-0.9 \pm 2.2$ [deg],  $0.017 \pm 0.002$ [Nm/kg]) に比べ訓練 1 時間後 ( $3.3 \pm 1.8$ [deg],  $0.019 \pm 0.002$ [Nm/kg]) で有意な増加が認められた ( $p < 0.05$ )。この 6 例のうち典型例の

結果を例示する。訓練前に比べ訓練中、訓練直後、及び訓練 1 時間後の共通点として立脚初期における股関節屈曲角度、伸展トルク、及び足関節背屈角度が増加した。立脚終期では足関節背屈角度、底屈トルクが増加した。遊脚初期から遊脚中期では足関節背屈角度、背屈トルクが増加した。遊脚中期では股関節、膝関節屈曲角度が増加した。

## 考 察

例示した典型例で考察すると、遊脚初期に足関節の背屈角度及び背屈トルクが増加することで toe drag が改善したため下肢を振り出しやすくなり、遊脚中期における股関節、膝関節屈曲角度が増加したと考えた。股関節屈曲角度の増加は立脚初期における股関節伸展トルクの増加を生じさせ、同時に足関節背屈角度の増加が踵接地を可能にし、床へ向かう大部分の力が前方への推進力に変換されたと考えた。そのため、立脚終期において足関節背屈角度、底屈トルクの増加が認められたと考えた。

山本らは立脚初期の踵接地から生じる踵を軸として身体全体が前方に回転する踵ロッカーの重要性を示唆し、踵ロッカーの補助がその後の立脚期全体の筋の働きを改善させたと報告している。本研究では遊脚期に足関節背屈運動を反復することで背屈角度及び背屈トルクが増加し、toe drag が改善することで踵接地が可能となった。その結果、踵接地から生じる踵ロッカーが立脚期全体にわたる各関節の運動軌道を改善したと考えた。

## おわりに

機能的電気刺激を用いた 1,000 歩の歩行訓練は遊脚初期から遊脚中期における足関節背屈角度及び背屈トルクを増加させ、運動学習効果を認めた。また、遊脚期における足関節背屈運動の改善は膝関節及び股関節の運動を改善させ、立脚期を含めた歩行周期全体の正常化を一部認めた。以上より、運動学習理論に基づく機能的電気刺激を用いた歩行訓練は臨床上有用であると考えた。

# チーム医療における読影所見記入の基礎的検討

## ～ MMG 検診における診療放射線技師読影について～

芦葉 弘志

医療科学専攻

(指導教員：煎本 正博)

### はじめに

国立がん研究センターがん対策情報センターの調査によると、推計の乳がん罹患率は、1975年11,123人から2004年には50,549人に増加している。乳がん死亡率は、1975年3,262人から2008年には11,797人に増加している。また、全国がん罹患モニタリング集計2005によると、年齢調整罹患率（人口10万対）女性における乳がん罹患率は、57.4となっている。

このような罹患率、死亡率を鑑みて、国の方針も2004年から大幅に転換し、乳がん検診にマンモグラフィ（以下MMGと表記）の導入を推奨している。その結果マンモグラフィ受診者は増加している。しかし、MMGを読影ができる医師が相対的に不足し、読影医の負担が問題になっている。

そこで、今回乳がん検診読影に関して診療放射線技師を補助者として活用する方法について検討をした。

### 目 的

- ・乳がん検診における一次読影を技師が行い二次読影を医師が行う場合（技師&医師）と医師の二重読影（医師&医師）の結果について検討する。
- ・検診MMGにおける診療放射線技師の読影所見記入の有用性について検討する。

### 方 法

- ・医師2名による二重読影と診療放射線技師1名医師1名による二重読影では、結果に差があるか検討する。

具体的方法として、それぞれ独立し左右別にカテゴリ分類をする。二者の意見がわかれた場合はより重いカテゴリを採用した。医師Aは、精中機構 認定B評価 経験年数21年 医師Bは、精中機構 認定B評価 経験年数8年 技師は、精中機構認定B評価 経験年数5年である。

悪性、良性、疾患なしをおりませた、MMG100例（左右別200乳）のハードコピーフィルムを使用したMMG試験セットを準備した。正解のカテゴリ分類については、読影テストに参加していない精中機構 認定A評価 経験年数15年 技師によって精中機構のガイドラインのカテゴリ分類を用いて左右別々にカテゴリ分類を行なった。データ分析に当たっては、カテゴリ3以上を要精密検査として扱う。有意差検定には、T検定を使用した。さらに結果をもとに、ROC解析を行った。

### 結 果

医師2名による二重読影と診療放射線技師1名医師1名による二重読影の、結果を次頁に示す。

	所見					所見			
	読影結果	正解				読影結果	正解		
		3,4,5	1,2	合計			3,4,5	1,2	合計
医師・医師	3,4,5	43	11	54	医師・技師	3,4,5	45	10	55
	1,2	8	138	146		1,2	6	139	145
合計		51	149	200	合計		51	149	200

それぞれの精度管理指標を示す。

	医師&医師	技師&医師	P 値
感度	84.31	88.24	0.83
特異度	92.62	93.29	0.95
陽性適中率	79.63	81.82	0.92
陰性適中率	94.52	95.86	0.95

この値から、医師&医師と技師&医師の有意差検定“T 検定”をおこなった。

感度は（有意水準 0.05）にて P 値 = 0.83 となり有意差はなかった。

特異度は（有意水準 0.05）にて P 値 = 0.95 となり有意差はなかった。

陽性適中率は（有意水準 0.05）にて P 値 = 0.92 となり有意差はなかった。

陰性適中率は（有意水準 0.05）にて P 値 = 0.95 となり有意差はなかった。

医師 & 医師と技師 & 医師の精度管理指標は、いずれの項目でも有意差はなかった。

ROC 解析では、医師&医師の AUC は、0.924 技師&医師の AUC は、0.971 であった。

AUC からの P 値 = 0.742 となり有意差をみとめなかった。（有意水準 0.05）

## 考 察

読影試験における、医師と診療放射線技師の値では、陽性的中率に比べ陰性的中率は高く、感度に比べ特異度は高かった。という結果がでたが、今回の読影テスト 200 乳は、有病率も 25.5% で 70% 以上は正常所見であるので、順当な結果といえる。陽性の拾い上げに関しては、82% 以上の信頼度があるといえる。陰性の拾い上

げに関しては、96% 以上の信頼度があるといえる。

マンモグラフィ検診は年々普及してきている。現在読影は、精中機構による講習会を受講し認定試験にて B 評価以上（A ~ D 評価にて B 評価以上が合格とされている）を受けた 2 名の医師で二重読影することが推奨されており、技師による一次読影は認められていない。

精中機構では、設立当初より診療放射線技師の認定制度を確立し、その項目に MMG 読影試験を取り入れ技師にも読影の能力を求めて教育及び読影試験による認定を行っていた。今回の読影試験においても、認定された診療放射線技師だからこそ、このような結果が得られた。我が国の精中機構の意義が高いといえる。

さいたま市岩槻区では、乳がん検診対象者の 40 歳以上の女性は、33,456 人に対して、精中機構の認定医師は、わずか 2 名のみである。検診受診率は 20% であるが国が理想としている受診率は、80% 以上となっている。80% 受診率と仮定すると、26,765 人になる。推奨は 2 年に 1 度の受診なので、13,383 人分を週に一度読影業務を行うとすると、一度に 279 人分を読影することになり負担は少なくない。能力をもっている医師の資源は有限である。検診に医師数が処理の制限条件になれば、検診は普及しない。資源を有効に使うためにも技師を補助者に加えた読影体制をより普及してキャパシティを増加させる必要がある。

## 結 論

- ・医師 & 医師、技師 & 医師の検診マンモグラフィの読影試験では、精度には差がなかった。検診 MMG において診療放射線技師を活用した読影がルーチン化できる可能性が示唆された。

# TomoTherapyを用いたつなぎ目線量評価

## —全身照射における下肢のつなぎ目—

伊東 宏也

医療科学専攻

(指導教員：土屋 仁)

### はじめに

放射線治療において、2つの照射プランをつないで使用する場合、問題となるのが照射プラン間のつなぎ目部分における線量分布の均一性である。TomoTherapyのみで全身照射、全骨髄照射を行う場合、体幹部の照射と下肢の照射と分けて照射を行う方法が用いられる。

先行研究ではつなぎ目の線量評価を行った報告がほとんどなく、TomoTherapyにて線量分布を決定する因子の一つであるJawサイズについては述べられていない。

### 目 的

TomoTherapyのみで全身照射を行う場合、下肢の部分にて2つの照射プランをつなぎ合わせる必要がある。このときの2つの照射プランにおいてJawサイズの違いが、つなぎ目部の線量プロファイルに与える影響について検討した。

### 方 法

#### 治療計画 CT 撮影

ファントムの中心面を原点(0点)として、Head First方向の撮影とFeet First方向による撮影を行った。撮影範囲はファントム全体をスキャンとし、スライス厚は5mmとした。

#### Head Firstプランの作成

ファントムの頭側からファントムの中心面を通るスライ

ス位置まで、ファントム中心に直径3cmの大腿骨を想定したPTV(Planning Target Volume)輪郭を設定した。Jawサイズは2.5cmを使用しプランを作成した。

#### Feet Firstプランの作成

Head Firstプランの作成とは逆に、ファントムの足側からファントムの中心面に向けてPTV輪郭を設定した。Head FirstプランとのPTVの重なりをなくすため、ファントムの中心面から1スライス分足側のスライスまで輪郭を設定した。このFeet FirstプランをGap0とするGap0プランの足側の輪郭を1スライス分削除したプランをGap1とし、同様に2スライス分の輪郭を削除したプランをGap2とし、Gap13まで作成した。Jawサイズは2.5cmと5.0cmを使用しプランを作成した。

#### 照射方法

ファントムのPTV中心を通る面にフィルムをはさみ、まずHead Firstプランにて照射を行い、照射後ファントムの頭側と足側を反転させてFeet Firstプランにて照射を行った。セットアップはファントム中心が回転中心になるようにセッティングした。

#### 解析

つなぎ目のない照射プランから得られたプロファイルを基準とし、各照射におけるプロファイルの乖離量(最大値と最小値)を求めた。

### 結 果

HF(2.5Jaw)-FF(2.5Jaw)照射:Gap0の線量プロ

ファイルにおける乖離量の最大値が最も大きく 30.8% となった。Gap0 から Gap4 までは乖離量の最大値が 5% を超える値となったが、Gap5, 6 では最大値はそれぞれ 2.7%, 2.2% となり 3% 以下の値となった。また乖離量の最小値（マイナス側のピーク値）は、Gap0 から Gap4 までは 1% 以内の値となり、Gap5 では -1.4%, Gap6 では -7.7% となった。

HF (2.5Jaw) -FF (5.0Jaw) 照射：Gap0 の線量プロファイルにおける乖離量の最大値が最も大きく 27.6% となった。Gap9 の照射の最大値は 7.9% のとなり、すべての Gap において最大値は 5% を超える値となった。また乖離量の最小値は Gap0 から Gap6 までは 1% 以内の値となり、Gap7 では -2.1%, Gap8 では -4.5% と 5% を超える値にはならなかったが、Gap9 では -7.3% となり 5% を超える値となった。

HF (5.0Jaw) -FF (5.0Jaw) 照射：Gap0 の線量プロファイルにおける乖離量の最大値が最も大きく 27.8% となった。Gap0 から Gap9 までは 5% を超える値となったが、Gap10 では 3.7%, Gap11 から Gap13 までは 2% 以下の値となった。また乖離量の最小値をみると Gap0 から Gap11 までは 1% 以内の値となり、Gap12 では -2.8%, Gap13 では -4.5% と 5% を超える値にはならなかった。

## 考 察

放射線治療において腫瘍に対する吸収線量精度の許容レベルは、 $\pm 3\%$  の範囲の精度が必要であるとされている。HF (2.5cm) -FF (2.5cm) 照射と、HF (5.0cm) -FF (5.0cm) 照射では  $\pm 3\%$  以内になる線量プロファイルカーブがあったが、(2.5cm) -FF (5.0cm) 照射では  $\pm 3\%$  以内のプロファイルカーブになるものはなかった。

これらの結果から TomoTherapy にてつなぎ目部分の線量プロファイルの均一性を良くするには、2つのプランにおいて jaw サイズを同じにすることが必要であると考えられる。

また Gap の幅についてみると、HF (2.5cm) -FF (2.5cm) 照射では Gap5, すなわち 25mm (PTV 輪郭の 5 スライス分) の Gap が必要であり、この値は照射するプランの Jaw サイズと同じ幅となった。

同様に HF (5.0cm) -FF (5.0cm) 照射についてみると、Gap11, すなわち 55mm 分の PTV 輪郭の Gap が必要となる。この値は照射するプランの Jaw サイズに近い幅となった。

次に有害事象の発生を考えた場合、大腿骨でのデータはないが、放射線治療計画ガイドラインにある大腿骨頭の TD5/5 (5 年間で 5% に副作用が生じる線量) は 52Gy であり、TBI における総線量 (12Gy 前後) と比較すると、耐用線量を超えることはないように思われる。

しかし、TD5/5 は一回線量が 1.8 ~ 2.0Gy における指標であり、近年 IMRT 照射では一回線量の増加傾向にあり、一回線量が 2Gy を超える高い場合の耐用線量については未知である。「合理的に達成可能な限り被ばく量を低減する」という放射線防護の基本的考え方にもあるように (As Low As Reasonably Achievable (ALARA)), たとえリスク臓器のない大腿骨部とはいえ、無駄に放射線を被曝させるべきではないと考える。

このことから本研究では、つなぎ目部分の線量プロファイルの均一性を高くするための照射条件を検討することができ、TomoTherapy にて TBI を行う際に不必要な被ばくを避けた照射方法を示せたと考える。

## 結 論

TomoTherapy を用いて全身照射を行う場合、つなぎ目部分の線量プロファイルの均一性を高めるには、2つの照射プラン間の Jaw サイズを同じにすることが必要である。

また、PTV 輪郭の Gap 量については使用する Jaw サイズと同じ幅の Gap 量が必要である。

# 医用画像における日本語文字表示不具合の調査

川田 憲伸

医療科学専攻

(指導教員：煎本 正博)

## はじめに

DICOMでは、DICOM タグ (0008,0005) に ISO 2022 IR13 (半角カタカナ文字), ISO 2022 IR87 (日本語文字), ISO 2022 IR 159 (日本語補助文字) を定義すると日本語文字が使用可能となる。漢字文字はカタカナやアルファベットと比較して文字が認識されやすいとされている。したがって漢字文字を使用することにより氏名の間違いを防止することにつながると考えられる。確かに、ISO 2022 IR 87 などを使うことにより漢字文字は取り扱えるようにはなるが、文字種に対応していない漢字が含まれる場合、文字化け不具合を起こす。そして文字化けを起こした場合、医療安全上に問題が生じる。当施設では病一病, 病一診連携などの医療連携において CD などのメディアに DICOM 画像を DICOM Q/R を利用して CD に氏名の印字, 画像保存を行っているが、日本語氏名が使われている場合に文字化けを起こしたことがある。また他院より受け取った DICOM 画像の氏名が文字化けしていることがあった。今回、漢字氏名の文字化けが引き起こす問題の現状調査と医療安全の観点からの評価を行ったので報告する。

## 目的

DICOM において氏名を対象とした漢字文字を含む日本語を使用した場合、次の2点について調べることを本研究の目的とした。

①現状の調査 漢字氏名が文字化け不具合現象を起こ

す頻度の調査

②氏名の文字化けの解決策の検討

## 方法

1 文字化け不具合現象を起こす頻度調査

テスト環境を構築して当施設に登録されている漢字氏名 (29,058 件 (2013 年 4 月 1 日現在)) および放射線科にオーダした漢字氏名 (2012 年 4 月～2013 年 3 月: 22,623 件) にタグ (0008,0005) ISO 2022 IR87 を定義, DICOM Q/R を実施, 不具合を調査する。その上で PDI チェックツール レベル 3 (IHE-J) から他に構造的な問題がないかどうかについて調査する。

2 文字化け対策の検討

実際に文字化けとなった漢字氏名を対象に他の文字種を使えば文字化けが起こらないかを符号化文字集合 ISO 2022 IR 87, ISO 2022 IR159 と文字符号化方式 ISO 2022 JP, ISO 2022 JP-1, ISO 2022 JP-2, ISO 2022 JP-3, ISO 2022 JP-2004 を JIS 規格 書 JIS X 0202:1998, JIS 漢字辞典を用いて調査する。

## 使用機器

- DICOM サーバ RELAYSERVER 1.1.1.50, Extserver 1.7.4.7 Q/R 1.0.0.45 (PSP, 東京)
- 可搬性記録媒体記録装置 5400N Professional MDS-J 2.4.5.1, System manager 8.5.0.0 (リマージュジャパン, 東京)
- PDI (Portable Data for Imaging) チェックツール レ

ベル 3 1.1.3.206 (IHE-J 協会, 東京)

・ 検像ソフト EV Confirm 1.0.0.116 (PSP, 東京)

## 結 果

1. 当院の登録氏名数 29,058 件中 617 件 (2.1%) で文字化け不具合を起こした。

実際に文字化けを起こした漢字氏名は「高」, 「瀨」, 「徳」, 「崎」, 「瀬」でその中で最も多かった文字は「高」, 「瀨」であった。

2012 年 4 月～2013 年 3 月の期間中に放射線科にオーダした 22,623 件中 973 件 (平均 4.3%) の文字化けを起こした。IHE-J PDI チェックツール レベル 3 を使用して不具合とされた画像とそうでない画像を比較した結果, 「文字種についての違反がある」のみであった。

この 4.3% という数字は比較的高く, 現状では漢字氏名を使用することは難しいと判断した。

2. 文字種による比較検討では ISO 2022 IR87 (1997 改訂版) を導入することにより一部の漢字文字が回避可能となった。実際, ISO 2022 IR87 (1997 改訂版) の採用により「高」の文字化けは回避できる。

本院での使用頻度を考えると, 「高」が文字化けしなくなれば, 文字化け率は月平均 4.3% → 2.1%, 全体で 2.1% → 1.4% に改善する。

## 考 察

DICOM 画像では, DICOM タグ (0008,0005) で定義されている文字種に ISO 2022 IR87 を記載することにより漢字の日本語表記が可能としている。しかし, 文字種に対応していない漢字が含まれる場合, 文字化けなどに代表される漢字氏名視認性不良, DICOM 通信不良などによる検査不能などの不具合が発生することが考えられ, その使用には十分な注意が必要である。

今回, 医療連携で使用した CD を対象として PDI チェックツール レベル 3 を用いて調べたところ, 文字化けが原因で情報連携ができない場合があることがわ

かった。IHE では, PDI チェックでエラーが無いことを医療連携の条件としており, 他院紹介や遠隔画像診断において DICOM での漢字氏名の利用はしないほうがよいと考える。

ISO 2022 IR87 は 1983 年, 1990 年, 1997 年と改訂を行っている。その中で文字化けを起こす漢字の対策を為された。これにより一部の漢字が文字化けしないようにはなったが, 今回の調査から判ったように問題となった漢字の全てが改善されたわけではない。改訂の動きは今後も続くと思われるので漢字を使いたい場合, 1997 年改訂以降の出来るだけ新しい版を採用することを推奨する。今後, マイナンバー制度導入, 住民基本台帳の統一漢字文字などの導入により戸籍上に登録している氏名が社会保障, 医療分野に利用されていても文字化けしにくくなる工夫がなされると思われるが, 現状の対策では ISO 2022 IR6 にあるアルファベット文字を使用するか, 日本語漢字を利用する場合には文字化けを起こしにくい ISO 2022 IR87 (1997 年改訂版) 以降の文字種を採用されることを期待したい。

本研究は筆者の一施設での検討の結果であり, 他のメーカーや施設では検討していない。しかし, 本研究結果をもってすると, 他施設ではさらに大きな問題や障害が発生している可能性がある。本研究の手法を用いて, 今後, 他施設での状況や施設間での発生した問題を分析することにより医療安全の改善に寄与できると考える。今回の調査では 5 種類の漢字氏名が文字化けすることが確認できた。しかしこれは限られた環境下での結果であり, 今後, 全国的な調査を行った場合にはさらに多くの文字化けする漢字氏名があると思われる。

## 結 論

- ① DICOM で定義されている ISO2022 IR87 では 4.3% の文字化けをおこした。
- ② 日本語文字を使用する場合には, ISO 2022 IR87 (1997 年改訂版) 以降の文字種を提案する。

# Dual Energy CTを用いたLung Perfused Blood Volumeの 撮影線量低減の検討

土屋 恭子

医療科学専攻

(指導教員：土屋 仁)

## はじめに

Dual Source CTによるDual Energyイメージングでは、2つのX線管を用いた高エネルギーと低エネルギーの同時スキャンにより、時間的、空間的に等価な2種類の異なるエネルギーのデータを取得する。X線エネルギーに依存した組織固有のCT値のシフト量を応用し、造影剤成分の抽出、骨と血管、石灰化などの組織分別や腎結石の組成解析など、Single Source CTでは描出できなかった画像の取得が可能である。

このDual Energyでは、一度の撮影によって造影CT画像と肺血流の灌流画像(Lung Perfused Blood Volume)を得ることができ、それらの合成画像では肺動脈の血栓と灌流欠損の確認、つまり形態評価と機能評価を同時に行うことができる。

最近では、肺動脈塞栓症の初期評価だけではなく、治療効果判定の経過観察として用いられているケースも増えている。さらに肺動脈相の後に灌流画像相を撮影するといった多時相撮影を用いている施設もあり、有用性が得られる効果に付随して複数回撮影することの被ばくの増加が懸念される。

需要の高まりつつあるこの肺灌流画像の撮影線量に関しては、混合画像(120kV相当の画像)におけるノイズレベルがSingle Source CTのルーチン撮影と同等のノイズレベルになるように設定しており、施設で通常使用されている画質基準での線量となる。灌流画像の撮

影線量の低減と画質に関する研究は未だなく、線量の最適化を行う上で線量低減の可能性について明らかにする必要がある。

## 目的

Dual Energy CTを用いたLung Perfused Blood Volumeにおいて、どこまで撮影線量を下げることが可能かを検討する。

## 方法

ファントムによる基礎的検討として、肺を模擬したウレタンスポンジに希釈率を変化させたヨード造影剤を浸透させたファントムを用い、2つのX線管システムA-system(140kV)、B-system(80kV)のCNR(Contrast to Noise Ratio)が同等とされる撮影条件下におけるmAs値を変化させた場合の定量的評価と視覚評価を行った。

### A) 定量的評価

1. 肺を模擬したウレタンスポンジ(密度0.016g/ml)に、希釈率を変化させたヨード造影剤(CT値[HU]50, 100, 150, 200, 300, 400の計6種類)を浸透させた試料を作成した。
2. 人体の胸部の脂肪・筋肉部分を模擬した外枠ファントムに1.の試料を配置した。
3. A-system(140kV)、B-system(80kV)の基準線量(Quality Ref.mAsをA-system75mAsとB-system375mAsとした場合)の実効mAs値が300mAsより

合計 mAs 値を 300mAs から低下させて撮影を行った。

なお、胸部領域においては 2 つの X 線管システム A-system (140kV), B-system (80kV) の CNR が同等とされる mAs 値の設定は A-system : B-system = 1 : 5 である。

また、CT-AEC の適用は off として pitch0.5, 回転速度 0.33sec/rot の標準撮影法にて撮影した。

4. mAs 値を変化させた場合の各試料の ROI をとり、CT 値 [HU], ヨード分布量 [mg/ml], ファントム全体の肺体積量 [cm<sup>3</sup>] について測定した。

## B) 視覚評価

1. 肺を模擬したウレタンスポンジ (密度 0.013g/ml) に、希釈率を変化させたヨード造影剤 (CT 値 [HU]50, 100, 150, 200 の計 4 種類) を浸透させた扇形の試料を作成した。
2. 各試料内に微小血管 (300[HU]) と微小塞栓部 (生理食塩水) を模擬した 1mm, 1.5mm, 2mm, 2.6mm, 3mm の孔 (ストロー) を配置した。
3. 人体の胸部の脂肪・筋肉部分を模擬した外枠ファントムに 2. の試料を配置した。
4. これらの微小孔の識別可能な最小径 [mm] について、各撮影条件のもと診療放射線技師 5 名と放射線科専門医 3 名にて視覚評価を行った。

## 結 果

### A) 定量的評価

mAs 値を変化させた場合の CT 値 [HU], ヨード分布量 [mg/ml], 肺容積量 [cm<sup>3</sup>] に大きな変化は見られなかった。基準 mAs 値 300 と最小 mAs 値 48 の各試料の CT 値 [HU] とヨード分布量 [mg/ml] にも統計学的有意差は認められなかった。画像再構成関数を変化させても測定値に大きな変化は認められなかった。

### B) 視覚評価

定量的評価ファントムの造影剤濃度を変化させた各試料のヨード分布の濃度変化においては、撮影線量による変化は見られなかった。視覚評価ファントムにおいては、識別可能な微小孔径 [mm] の各撮影線量と各観

測者間による統計学的有意差は認められなかった。

## 考 察

Lung Perfused Blood Volume で得られるヨード分布量 [mg/ml] は、CT Perfusion によって得られるパラメータである肺血液量 (Lung Blood Volume) を表している。今回作成したファントムにおいて得られたヨード分布量 [mg/ml] は、臨床例における肺のヨード分布量 [mg/ml] とほぼ同等の値を示し、本ファントムと臨床例との整合性が得られたといえる。今回、このファントムを用いた検証において、Lung Perfused Blood Volume の線量低下における画質の定量的評価が可能であった。

定量的評価では、撮影線量による測定値に有意差はなく、視覚評価においても識別可能な微小孔径 [mm] の撮影線量による画質の有意差がないという結果が得られた。定量的評価においては画像再構成関数を変化させても測定値に大きな変化は認められず、ヨード分布量 [mg/ml] が周波数特性やノイズの影響を受けないことも明らかとなった。また、視覚評価での分解能においても、撮影線量によるノイズの影響を受けないことが示された。

以上より、Lung Perfused Blood Volume においては、撮影線量を最少設定 48mAs (CTDIvol 値 1.6[mGy]) まで下げて、現状の撮影条件に対して 84% の線量低減においても、灌流画像の画質に影響なく低減できることが明確となった。

しかし、混合画像へのノイズの影響によって、肺動脈内の血栓の質的評価や他の病変の検出が評価困難となり得る可能性もある。よって検査目的を十分考慮して線量低減には注意を払う必要がある。今後の課題として、肺実質の密度により近い材質のファントムを選択すること、標準体格以上の厚みをつけた大きなファントムサイズを用いる検討や、カラーマップ表示の最適化と併せた視覚評価の評価方法を再考する必要があると考えられた。

## 結 論

本法による Dual Energy CT を用いた Lung Perfused Blood Volume において、撮影線量の 84% の低減が可能である。

# 水晶体ブロックを使用した眼窩部電子線治療における 水晶体遮蔽効果の定量的評価 (GAFCHROMIC Film : EBT3 を使用して)

南 利明

医療科学専攻

(指導教員：土屋 仁)

## はじめに

眼窩領域の悪性腫瘍病変，主に眼瞼部腫瘍や結膜のリンパ腫である MALT リンパ腫は，顔面表面の病変であり早期発見のケースが多い。美容的な観点から早期病変であれば治療法の第一選択は外科的切除術より放射線治療が選択される。治療領域には水晶体が含まれ，晩発的な放射線障害の誘発をさけるため水晶体の被ばく線量を低減するブロックを使用する。当院では鉛製のブロックを自作し臨床に使用している（直径約 1cm，厚さ約 8mm，円筒形状で眼球と密着するように接触面に凹面を形成）。電子線エネルギーは 6MeV，前方一門照射で治療を行っている。照射野は円形で直径 5cm  $\Phi$ ，水晶体の位置は 6MeV 電子線の最大深よりも浅い部分に存在する。これは，平行平板型電離箱線量計で計測するには推奨されない領域に存在することになる。

## 目 的

自作した水晶体ブロックは，正常組織水晶体耐用線量 10Gy (TD5/5) 以下を満たすか，水晶体の被爆線量を定量的に測定し水晶体ブロックの効果を評価する。

## 方 法

三次元駆動式水槽ファントムに自作フィルムホルダを装着し，水槽内でフィルムを垂直に保持し高精度に設

置するシステムを考案した。フィルムには水中使用可能で現像処理の必要ない GAFCHROMIC Film:EBT3（以下 EBT3）を使用した。EBT3 の線量に対する濃度の変化は，黄色から濃青色を経て黒に変化するため読み取りは三原色（赤，緑，青）でおこなうが，今回評価する線量域でもっとも感度の良い赤色で読み取りのすべてを実施した（Single Chanel Method）。また照射後経時的な濃度上昇（Post Exposure Density Growth）をともなうため読み取り時間を 48 時間に決定した。水晶体ブロックの効果を評価する手法を以下に示す。

1. EBT3 で計測する，水晶体の位置と領域を決定する。
2. EBT3 の基本特性を把握し，線量変換曲線を作成する。
3. EBT3 を使用し深部量百分率曲線（PDDcurve）を作成し，影響を与える因子について検討する。
4. 線量評価のリファレンスとして，平行平板型電離箱線量計による測定結果を提示する。
5. EBT3 を使用して水晶体領域の線量を定量的に評価する。

## 結 果

EBT3 で評価する水晶体領域は，表面から 0.6cm の深さで直径 5.3mm の円形領域とした。線量変換曲線は，フィルムの配置により異なる曲線を示したためそれぞれの特性曲線を取得し使用した。今回評価するのは体表

面近くの線量である。しかし、レンズブロックを水面に設置すると、フィルムの辺縁域を使用しないでビームと平行に設置することは難しい。本研究では自作フィルムホルダを放射線治療用三次元駆動水槽に設置し使用しているため、フィルムを0.1mm単位で三次元方向に正確にビームと平行に配置することができた。フィルムの設置位置は水面から沈める方向に配置することで線量分布測定に与える影響は少なくなると評価できた。フィルムをビームと直角に、水面から最大飛呈領域まで深さの異なるフィルム資料を取得し線量を評価することにより、フィルムの配置方向（平行と垂直）が線量分布測定に与える影響を評価した。平行平板型電離箱による深部量百分率曲線の測定結果は、EBT3フィルムの垂直配置の結果と酷似した。以上の検討により、水晶体の遮蔽線量を正確に評価出来る手法を決定し評価した結果、処方線量180cGyの照射で水晶体遮蔽により水晶体の線量は平均24.64cGy、最大52.71cGyであった。標準的な治療回数17回を実施すると、平均4.19Gy、最大8.96Gyであった。

## 結論・考察

自作フィルムスタンドにより、精度よく簡便に EBT3

フィルムをビームと平行に配置し、小照射野の深部線量百分率 (PDD) の測定を行うことができた。最大深より浅い部分の測定には、フィルムをビームと垂直に配置し精密な深度設定を確保して細かく測定資料を取得することで電子線深部量百分率 (PDD) を正確に測定できる。自作した水晶体レンズブロックは水晶体耐用線量 10Gy (TD5/5) をクリアしていることが確認でき有効に機能していると言えるが、レンズブロックからの散乱線低減策を実行すれば、さらに効果的となる。

当院では最近、使い捨てソフトコンタクトレンズを活用し、散乱線の低減と水晶体ブロック装着にともなう微細な眼球の損傷を防止する目的で使用している。電子線の深部線量分布は X 線とは異なる特徴がある。その一つに、遮蔽側に深部線量が入り込む分布を示すことがあげられる。EBT3 を使用し線束と平行に配置して測定すると、現像処理することなくその現象が一目で確認できる。この特徴的な分布を主観的にも定量的にも評価できるのはフィルムである。水中で使用することは電離箱線量計を比較測定として評価する場合、同一環境で測定でき、測定結果を有効に評価できる点で重要な要因である。

# ガンマナイフ治療計画用MRIの画像歪みの検討

## —シーケンスによる歪みの比較—

柳井田 望

医療科学専攻

(指導教員：煎本 正博)

### はじめに

ガンマナイフ治療は、装置の進歩とともに高精度化が進み、治療成績も向上して注目されている。ガンマナイフ治療計画には組織分解能が高いMRI画像が使用されている。しかし、MRIの画像には潜在的に歪みを有しているものであり正確な位置情報が必要とされるガンマナイフの治療計画に使用するためには、画像の歪みを検討することが必要である。

脳転移腫瘍の治療計画に使用されるMRI画像のシーケンスは、T1強調画像の3D-GRE (Gradient Echo) と2D-FSE (Fast Spin Echo) があり、造影剤を倍量投与する。

MRIの原理上3D-GREは歪みが大きいとされているが、撮像時間は3D-GRE (8分) + 2D-FSE (17分) = 25分である。

ガンマナイフ治療計画用MRIの撮像時は、頭部固定用の金属フレームを装着して撮像を行うが、その金属フレームの影響もシーケンスによって違いがあるのではないかと考えられる。先行論文でもガンマナイフ治療計画用MRI画像の歪みの検討をされている論文はあるが、撮像シーケンスによる歪みの違いは検討されていない。

### 目的

現在撮像されている、ガンマナイフ治療計画MRI画像のシーケンスの3D-GREと2D-FSEの歪みの違い、

金属フレームの影響の違いを検証し、一方を省略することでの撮像時間の短縮の可能性を検討する。

### 方法

レクセルMRファントムを使用する。ファントム内を硫酸銅で満たし、グリッドを入れて撮像を行う。撮像はインジケータとファントムを金属フレームに装着してAxial画像を得る。治療用計画装置ELEKTA LeksellGammaPlanにてグリッド点の座標位置を計測する。歪みのない画像としてCTを撮影して、MRIの各シーケンスの座標と比較する。

### 結果

Fig.1, 2において、統計的に有意かを確かめるために、有意水準5%で両側検定のt検定を行ったところ、X, Y座標に関し、3D-GRE, 2D-FSEの間には統計的な有意差を認めなかった。(X:p = 0.91, Y:p = 0.63)

さらにFig.3, 4より金属フレーム付近の歪みは、2D-FSEにて金属付近で大きく歪んでいて、3D-GRE, 2D-FSEの間には統計的な有意差が認められた。(B:p = 0.04, C:p = 0.02)

### 考察

MRIの原理上3D-GREの方が歪みが大きく、金属アーチファクトの影響を受けるとされているが、今研究においては歪みに差が無く、金属アーチファクトの影響

は 3D-GRE の方が小さい結果となった。原因としては、傾斜磁場の直線性の不良は FOV の大きい場合に起こり、頭部領域の FOV24cm 程度では起きていないのではと考えられる。

Y 座標の歪みの方が大きいのは、歪みアーチファクトは静磁場の不均一のゆらぎの影響から画像のリード方向（位相エンコード方向）に影響を受けるとあり位相エンコード方向が関係していると考えられる。位相エンコード方向は A → P 方向で Y 軸の - 側に歪みが大きくなったと考えられる。

金属アーチファクトに関しては、echo train length の影響だと考えられる。

このことから 3D-GRE の画像歪みの補完のために

2D-SE を撮像する必要はないといえる。

ガンマナイフの治療計画用の MRI は、まず事前の MRI において腫瘍の形状、大きさ、部位を把握されている状態で行うものである。したがって、事前の MRI にて 2D-FSE の方がより腫瘍の状態が描出されている腫瘍の治療計画 MRI を撮像する場合のみ 2D-FSE を追加撮像すればよい。

### 結 論

撮像シーケンス間には歪みの差がないことから、3D-GRE (8 分) の撮像のみで十分であるといえる。これにより撮像時間の短縮は可能である。

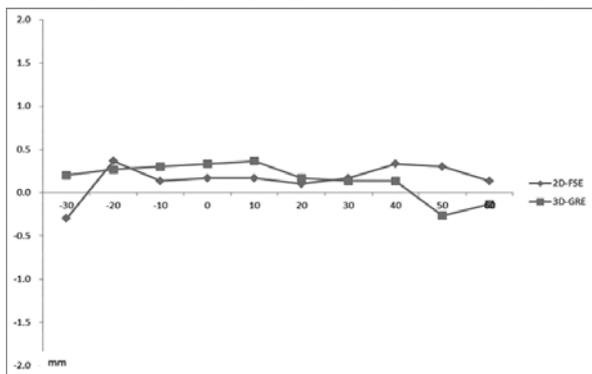


Fig.1 横軸をZ軸とするX軸方向の歪み

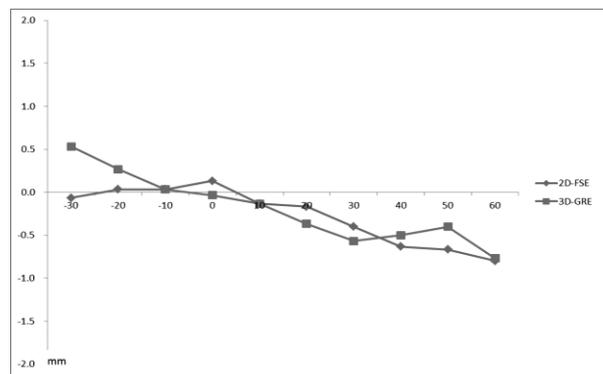


Fig.2 横軸をZ軸とするY軸方向の歪み

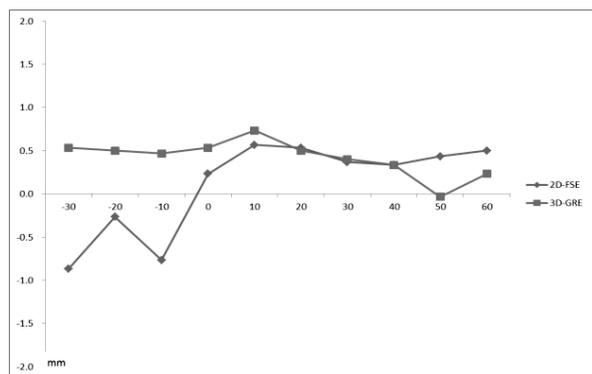


Fig.3 フレーム付近のX軸方向の歪み

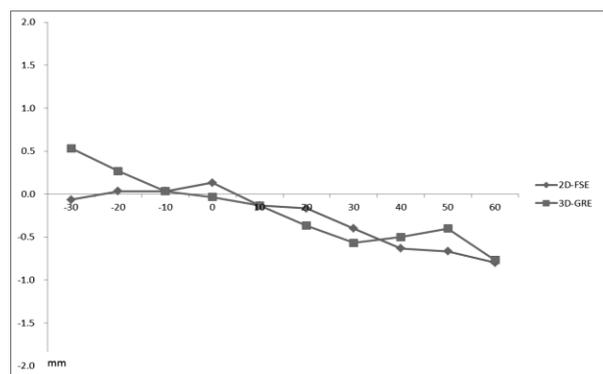


Fig.4 フレーム付近のY軸方向の歪み

# 鍼刺激による脳内血流への影響

## ～ NIRS を用いたヒト脳内血中ヘモグロビン濃度変化量の測定～

王 桂鳳

医療科学専攻

(指導教員：石田 寅夫)

### はじめに

中国で発祥した鍼・灸は 2000 年以上の歴史を持つ治療法であるが、その作用機序はまだ解明されていない。これまで鍼・灸治療の効果を観察する手段として脳波計やポジトロン断層法 (positron emission tomography : PET) を用いた脳機能の測定が行われていたが、近年は functional magnetic resonance imaging (fMRI) 等を用いた脳内血流の変化の測定が主流になっている。Near Infra-Red Spectroscopy (NIRS) は近赤外光が生体を通過する際にヘモグロビンにより吸収される性質を利用して酸素化ヘモグロビン濃度変化を指標とした生体の血流量変化を非侵襲的に測定する新しい測定装置であり、簡便性・非侵襲性・移動性・時間分解能に優れる。近年、うつ病と脳血流の低下の関係が明らかになり、NIRS を用いたこの脳血流量変化の推定がうつ疾患などの診断補助として用いられるようになった。本研究では、うつ病に対する効果が報告されている頭部の経穴「百会」と「印堂」、および頭部から離れた四肢の経穴「孔最」、「三陰交」、「足三里」に対する鍼刺激が脳血流量変化に与える影響について NIRS を用いて検証した。

### 目 的

頭部の経穴「百会」と「印堂」、および頭部から離れた四肢の経穴「孔最」、「三陰交」、「足三里」に対する鍼刺激が酸素化ヘモグロビン濃度変化を指標とした脳

血流量変化に与える影響について NIRS を用いて検討し、経穴刺激とこの脳血流量変化との関連を探究する。

### 方 法

#### I 被験者

1. 本学倫理委員会の承認を得たうえで本人の同意が得られた健常成人 231 名を対象とした (精神疾患, 心疾患, 視覚・聴覚障害, 脳血管障害罹患者は除外)。
  2. 臨床試験①の被験者は健常成人 159 例 (男: 50 人, 女: 109 人。20 ~ 82 歳, 平均 46.1 歳)。また, 対象者のうち 10 例を (男: 4 人, 女: 6 人。平均 32.6 歳) を鍼通電の対象とした。
  3. 臨床試験②の被験者は健常成人 18 例 (男性: 3 人, 女性: 15 人, 21 歳 ~ 76 歳, 平均 50.6 歳) を偽鍼の対象とした。
  4. 臨床試験③の被験者は健常成人 54 例 (男性: 19 人, 女性: 35 人, 20 歳 ~ 78 歳, 平均 48.6 歳) を 3 群 (18 人/群) に分割し, 鍼の対象とした。
- \* 測定中眠くなった, 体動があったなどの事情によるデータは解析の対象から除外した。

#### II 臨床試験測定機材: NIRS (島津製作所) とその課題設定

三波長近赤外線光 (780,805,830nm) を用いて, 酸素化ヘモグロビン濃度変化を指標として脳血流量変化

を測定（測定成分：脳成分 65%，皮膚成分 35%（Ohmae et al. Neuroimage, 2006. Saager and Berger. J Biomed Opt. 2008.）。

1. プローブ設定：前頭部 T3-Fpz-T4（国際 10-20 法）を基準として 42 チャンネル（縦 3 × 横 9 = 27 本の検査プローブ）を設置。
2. 言語流暢性課題（Verbal fluency task: VFT）：30 秒間（プレタイム）「あ・い・う・え・お」を繰り返し発音させる。続いて 60 秒間ランダムに表示される「あ」「は」「き」などの平仮名 1 文字から始まる単語をできるだけ多く発音させる（VFT）。最後にプレタイムと同様に 70 秒間（ポストタイム）「あ・い・う・え・お」を繰り返し発音させる。

### III 臨床試験方法

経穴刺激の再現性向上のため、日本のはり・きゅう師の国家資格を持つ共同研究者全員が施術方法を確認した上で本臨床試験を開始し、施術者の相違によるばらつきを防いだ。

#### 1. 臨床試験①

- ・実施期間：2013.8 ～ 2013.10
- ・臨床試験①プロトコール：
  - a) NIRS 測定（20 分間）：被験者を安静にさせ、プローブを設置し、検査中なるべく動かない、目を閉じないなどを注意事項を説明した後、VFT を実行し、NIRS を用いて酸素化ヘモグロビン濃度変化を測定した。
  - b) 鍼通電刺激（20 分間）：「百会」（GV20）を陽極と「印堂」（Ex-HN3）を陰極として鍼通電（OhmPulser LFP-4000A, 2Hz × 20 分）刺激を行った。{中国鍼：太さ：0.20mm, 長さ：25mm, 深さ 17mm（0.5 寸），横刺}
  - c) NIRS 測定（20 分間）：再び VFT を実行し、NIRS を用いて酸素化ヘモグロビン濃度変化を測定した。

#### 2. 臨床試験②

- ・実施期間：2014.2 ～ 2014.3
- ・臨床試験②プロトコール：

- d) NIRS 測定（20 分間）：臨床試験①の a）と同様。
- e) 「偽鍼刺激」（20 分間）：18 人を対象に、被験者の頭部（百会）を鍼の代わりに鍼管で叩いた。また叩く部位は被験者から見えないようにした。{鍼管：日本セイリン鍼 J タイプ 1 番鍼の鍼管（長さ 30mm）}

- f) NIRS 測定（20 分間）：臨床試験①の c）と同様。

#### 3. 臨床試験③

- ・実施期間：2014.2 ～ 2014.3
- ・臨床試験③プロトコール：
  - g) NIRS 測定（20 分間）：臨床試験①の a）と同様。
  - h) 鍼刺激（20 分間）：3 群（各群 18 人）に分けた対象者に対し、「孔最」（LU6）、「三陰交」（SP6）、「足三里」（ST36）に鍼刺激を行った。{日本鍼：太さ 0.16mm, 長さ 30mm, 深さ：17mm（0.5 寸），直刺}
  - i) NIRS 測定（20 分間）：臨床試験①の c）と同様。

### IV 解析方法

1. 前頭部 42 チャンネルより前頭前野背側面に相当する 11 チャンネルを選択し、その原波形から 160 秒間のデータをワンセットとする加算平均を行い、得られた波形から積分値（単位：mMcm・s）を算出し評価した。
2. 臨床試験①ではタスク開始からタスク終了後も含め通過全反応量の 1/2 の時点を計測し、反応の早さを重心値（単位：s）として評価した。
3. 統計解析ソフトは JMP10.0.2 を用いて t 検定および Tukey の範囲検定を行い、有意水準を 5% 未満とした。また、同様に SPSS（IBM 社）による解析も行った（臨床試験②と③）。

## 結 果

### 1. 臨床試験①の結果

1. 全被験者 159 人について、VFT による前頭部の酸素化ヘモグロビン濃度変化を測定できた。全被験者の酸素化ヘモグロビン濃度変化の積分値の平均

値は  $10.6 \pm 13.8 \text{mMcm} \cdot \text{s}$  (平均値  $\pm$  標準偏差, 以下同様), 酸素化ヘモグロビン濃度変化の重心値の平均値は  $46.8 \pm 20.7 \text{s}$  であった。

2. 各被験者の酸素化ヘモグロビン濃度変化を指標とした脳血流量変化における反応の大きさ: 酸素化ヘモグロビン濃度変化の積分値の平均値は, 「百会」と「印堂」への鍼通電刺激前の  $8.4 \pm 16.0 \text{mMcm} \cdot \text{s}$  から刺激後  $9.8 \pm 11.2 \text{mMcm} \cdot \text{s}$  に増加したが, 有意差はみられなかった。
3. 各被験者の酸素化ヘモグロビン濃度変化を指標とした脳血流量変化における反応の早さ: 酸素化ヘモグロビン濃度変化の重心値の平均値は, 「百会」と「印堂」への鍼通電刺激前の  $54.7 \pm 38.6 \text{s}$  から刺激後  $41.2 \pm 21.2 \text{s}$  に減少したが, 有意差はみられなかった。
4. 酸素化ヘモグロビン濃度変化の積分値と重心値に関し, 各被験者の測定値と全被験者の当該測定値の平均値との差の絶対値の平均値 (以下,  $\Delta$  とする。) を「百会」と「印堂」への鍼通電前後で比較した。積分値に関しては,  $\Delta$  は鍼通電刺激前の  $10.8 \text{mMcm} \cdot \text{s}$  から鍼通電刺激後に  $8.2 \text{mMcm} \cdot \text{s}$  にまで減少した。重心値に関しては,  $\Delta$  は鍼通電刺激前の  $31.7 \text{s}$  から鍼通電刺激後に  $17.2 \text{s}$  にまで減少した。これにより, 「百会」と「印堂」への鍼通電刺激が各被験者の酸素化ヘモグロビン濃度変化の積分値と重心値を全被験者の当該平均値に近づけることが明らかになった。

計算方法:

$$\{ \sum |(\text{鍼通電前積分値} - 10.6)| \} / 10 \text{ vs. } \{ \sum |(\text{鍼通電後積分値} - 10.6)| \} / 10$$

$$\{ \sum |(\text{鍼通電前重心値} - 46.8)| \} / 10 \text{ vs. } \{ \sum |(\text{鍼通電後重心値} - 46.8)| \} / 10$$

## II. 臨床試験②の結果

1. 酸素化ヘモグロビン濃度変化の積分値の中央値は, 偽鍼刺激前の  $11.6 \text{mMcm} \cdot \text{s}$  から偽鍼刺激後は  $10.0 \text{mMcm} \cdot \text{s}$  を示した。また, 偽鍼刺激前は  $10.8 \text{mMcm} \cdot \text{s}$  であった平均値は偽鍼刺激後に

$9.2 \text{mMcm} \cdot \text{s}$  を示し, 有意な変化はみられなかった。

2. 「偽鍼」群偽鍼刺激前後酸素化ヘモグロビン濃度変化の積分値の差の平均値はマイナスであった。

## III. 臨床試験③の結果

1. 鍼群における鍼刺激後の前頭部の酸素化ヘモグロビン濃度変化の積分値の変化: 各群における鍼刺激後の酸素化ヘモグロビン濃度変化を指標とした脳血流量の変化は被験者により異なったが, 統計解析により以下の結果が得られた。

①「孔最」への鍼刺激では, 酸素化ヘモグロビン濃度変化の積分値の平均値は, 鍼刺激前の  $18.1 \text{mMcm} \cdot \text{s}$  から鍼刺激後に  $8.6 \text{mMcm} \cdot \text{s}$  を示し, 有意に減少した ( $P=0.001$ )。

②「三陰交」への鍼刺激では, 酸素化ヘモグロビン濃度変化の積分値の平均値は, 鍼刺激前の  $16.1 \text{mMcm} \cdot \text{s}$  から鍼刺激後に  $17.4 \text{mMcm} \cdot \text{s}$  に増加したが, 有意差はみられなかった。

③「足三里」への鍼刺激では, 酸素化ヘモグロビン濃度変化の積分値の平均値は, 鍼刺激前の  $13.8 \text{mMcm} \cdot \text{s}$  から鍼刺激後に  $10.1 \text{mMcm} \cdot \text{s}$  に減少したが, 有意差はみられなかった。

2. 各鍼刺激群における前頭部の酸素化ヘモグロビン濃度変化の積分値の平均値の差は, 「孔最」群がもっとも大きく, 「足三里」群, 次いで「三陰交」群の順であった。

## 考 察

### I. 臨床試験①の考察

1. VFT により前頭葉の酸素化ヘモグロビン濃度変化の積分値が増加することが NIRS による解析で確認された。これは他の解析手法による報告と一致する。NIRS を用いた前頭部の酸素化ヘモグロビン濃度変化の積分値や重心値には個体差 (性別・年齢) が見られた。これは健康状態や神経細胞での酸素代謝の効率等の生理状態が個人により異なるためで

あると考えられる。また、VFT に対する順応性・日常性・新奇性が個人によって異なるためである可能性も考えられる。

2. 「百会」と「印堂」への鍼通電刺激は、被験者毎に血流増加作用や抑制作用を示し異なる効果を示した。そのため、「百会」と「印堂」への鍼通電刺激による有意な血流制御作用は確認できなかった。しかしながら、「百会」と「印堂」への鍼通電により、酸素化ヘモグロビン濃度変化の積分値と重心値に関し、各被験者の測定値と全被験者の当該測定値の平均値との差の絶対値の平均値 $\Delta$ を減少させたので、鍼通電刺激によってバランスを整える平衡作用を発揮する可能性がある。

## II 臨床試験②の考察

1. 「偽鍼」群において、偽鍼刺激をする前後に2回 VFT と NIRS 測定を行ったが、積分値に大きな差がなかった。従って、臨床試験③の鍼刺激をする前後で、VFT と NIRS 測定をすることで、鍼刺激の効果を評価することが妥当であると考えられる。

## III 臨床試験③の考察

1. NIRS を用いた測定により「三陰交」への鍼刺激が前頭部の酸素化ヘモグロビン濃度変化を指標とした脳血流量変化を増強する事が明らかとなった。脳血流の増加が確認された fMRI と同様の結果が得られた。NIRS を用いた測定により「足三里」への鍼刺激が前頭部の脳血流量変化を抑制する事が明らかとなった。脳血流の増加が確認された fMRI の報告と異なる結果が得られた。fMRI が鍼刺激による脳血流の増加を直接観察しているのに対し、NIRS は VFT を介して間接的に脳血流の変動を観察しているために生じた相違か、または「足三里」への鍼刺激は脳全体では血流を増強させるが、前頭部の血流を抑制させる可能性が考えられた。
2. 頭部から離れた前腕部に存在する経穴「孔最」の脳血流量変化に対する効果は、これまでの fMRI の研究では検討されていなかった。NIRS を用いた

本臨床試験により、「孔最」に対する鍼刺激が前頭部の脳血流量変化を抑制する事が明らかとなった。「孔最」への鍼刺激が脳血流量変化を制御する機序は不明であるが、近年のラットを用いた動物実験により、前肢・後肢への鍼刺激が脳血流量を増加した報告がある。さらに、前脳基底部無名質にあるニューロン群であるマイネルト基底核 (Nucleus Basalis of Meynert: NBM) の障害により鍼刺激の効果が失われることから、ヒトにおいてもラットと同様に頭部から離れた経穴である「孔最」への鍼刺激が NBM のコリン作動性神経線維から放出されるアセチルコリンを介して大脳皮質の局所血流量を制御している可能性が考えられるが、これについてはさらなる研究が必要である。

3. NIRS での計測値は、鍼刺激の介入で平均血圧値の変動により影響を受ける可能性がある。しかし、血圧測定操作により NIRS での計測値に影響がでることおよび鍼刺激は血圧に影響しないという報告もあり、本実験では割愛した。NIRS 測定値に影響を与えない方法が見つければ、血圧測定も今後検討したい。

## IV 臨床試験全体の考察

1. 臨床試験②の偽鍼刺激前の酸素化ヘモグロビン濃度変化の積分値の標準偏差は  $5.7\text{mMcm}\cdot\text{s}$  であり、偽鍼刺激後の標準偏差は  $5.4\text{mMcm}\cdot\text{s}$  で差はほとんどなかった。これに比較し、臨床試験①の「百会」・「印堂」での鍼刺激前の酸素化ヘモグロビン濃度変化の積分値の標準偏差は  $16.0\text{mMcm}\cdot\text{s}$  であり、その鍼刺激後の標準偏差は  $11.2\text{mMcm}\cdot\text{s}$  で減少した。また、臨床試験①の「百会」・「印堂」での鍼刺激前の酸素化ヘモグロビン濃度変化の重心値の標準偏差は  $38.6\text{s}$  であり、その鍼刺激後の標準偏差は  $21.2\text{s}$  で大きく減少した。臨床試験③の「孔最」穴での鍼刺激前の酸素化ヘモグロビン濃度変化の積分値の標準偏差は  $12.7\text{mMcm}\cdot\text{s}$  であり、その鍼刺激後の標準偏差は  $9.7\text{mMcm}\cdot\text{s}$  で減少した。臨床試験③の「足三里」穴での鍼刺激前の酸

素化ヘモグロビン濃度変化の積分値の標準偏差は11.8mMcm・sであり、その鍼刺激後の標準偏差は10.0mMcm・sで少し減少した。前者の偽鍼刺激前後の標準偏差があまり変わらないことから、後者の鍼刺激前後の標準偏差の変動は単にNIRS測定が二回目であるという慣れに由来するものではなく、後者の鍼刺激効果を表していると考えられる。

2. 本研究において、四肢の経穴「孔最」, 「足三里」, 「三陰交」も脳内血流の制御に関与している可能性が示された。しかしながら、それらの作用は被験者毎の個人差が大きいことが明らかとなった。これは、鍼刺激による“得気”感覚の有無, VFTへの応答性, 皮膚分節の領域に分布する求心性線維の密度, 中枢のコリン作動性機構への連絡が被験者により異なるためであると考えられる。今後はVFTの

改良とともに、より継続した効果のある鍼刺激（得気）, 非経穴への鍼刺激, 再現性のある観察, 全頭部への計測等が必要だと考えられる。

## 結 論

1. 臨床試験①：頭部の経穴「百会」・「印堂」への鍼刺激は各被験者の前頭部の酸素化ヘモグロビン濃度変化を指標とした脳血流量変化を全被験者の平均値に近付ける事によってバランスを整える平衡作用を持つ。
2. 臨床試験③：頭部から離れた四肢の経穴「孔最」および「足三里」は前頭部の脳血流量変化を抑制する作用を持ち、「三陰交」は脳血流を増加させる効果を持つ。