原 著

鍼通電刺激が脳血流量および脳代謝に
及ぼす影響

矢 野 忠* 森 和

要旨 鍼刺激が脳血流量および脳グルコース代謝に及ぼす影響については明らかでない。そこでポジトロンCT装置を用いて鍼通電刺激が局所脳血流量および局所脳グルコース代謝に及ぼす影響について健康成人(5名)および脳血管障害や脳腫瘍患者(10名)を対象に検討した。

刺激方法は鍼通電刺激(2 Hz, 15分間)とし、刺激部位は片側手三里一合谷とした。

その結果、OM45では鍼通電刺激側と対側の前頭葉および側頭葉において脳血流量および脳グルコース代謝は亢進を示したが、OM80では前頭葉、側頭葉、頭頂葉のグルコース代謝は両側性に亢進した。

以上のことから鍼通電刺激は脳血流量および脳グルコース代謝に影響を及ぼすことがわかった。

I はじめに

鍼灸の治療的効果は、刺激の局所レベルから中枢レベルまでの反応が重なり合い、あるいは相互に作用して生ずるものと考えられる。

これまで局所あるいは末梢の一般治効作用について多くの研究がなされているが、ヒトにおける中枢レベルでの研究は脳波に関する報告^{1,2)}のみで脳内の血流動態や脳細胞の代謝について究明した報告は検索できなかった。

現在、脳内の血流量や脳細胞代謝の測定方法としてポジトロン核医学が注目されている。ポジトロン核医学とはポジトロンCT(Positron Emission Computed Tomography: PET)技術を駆使して脳や身体諸器官の機能図をイメージングし、診断や

治療効果さらに発病のメカニズムを追及する医学をいう。脳内の血流量や代謝活動などの機能を画像として見るには現在のところポジトロンCTが最も適している³⁻⁵⁾。

そこで鍼灸治療の治効に関する基礎的研究としてポジトロンCTを使って鍼通電刺激が脳皮質の血流量やグルコース代謝に対してどのように影響するかを検討した。

II 研究方法

1. 研究対象

被験者は健康成人ボランティア5名、脳血管障害、脳腫瘍、パーキンソン病などの患者10名である。

2. 使用機器

使用したポジトロンCT装置は島津製作所製HEADTOM IIで、実験にあたっては国立中野病院放射線科の協力を得た。HEADTOM IIは64個のNaI(沃化ナトリウム)の結晶の検出器を備え、一度に3スライスの断層画像(1.75mm間隔)を撮るこ

*Tadashi YANO 明治鍼灸大学東洋医学教室

共同研究者: Kazu MORI 明治鍼灸大学東洋医学教室

Key Words: 鍼通電刺激, 脳血流量, 脳ブドウ糖代謝, 中枢神経機能, ポジトロンCT

とが可能である。空間分解能は約10mmで、スライス厚も約10mmの性能を持つ。

3. 測定内容

1) グルコース代謝の測定

使用した標識化合物は ^{11}C グルコースで経口投与(20~30mCi)による方法を採用した^{6,7)}。 ^{11}C グルコースは日本製綱所製医療用サイクロトロン BC105で生産した ^{11}C を葉緑素から光合成によって得られたグルコースにラベルすることによって作ったものである。この方法では脳細胞のグルコースの取り込み量を定性的に測定することはできないが、定量的に測定することはできない。

2) 脳血流量の測定

脳血流量の測定法としてSteady Study法(定常吸入測定法)を採用した^{8,9)}。この方法はサイクロトロンで生産された C^{15}O_2 ガス(5~10mCi/min)および $^{15}\text{O}_2$ ガス(10~15mCi/min)をスパイロメータで順次吸引させ、血中ガス濃度が一定になったところでCTスキャンを行なう平衡映像法の一つである(図1)。この方法ではあらかじめ確保しておいた動脈カテーテルより動脈血を採取し、動脈中のガス濃度をそれぞれ測定して関係式に挿入することによって脳血流量と酸素消費率および酸素摂取率を定量的に求めることができる。なお、定量的なSteady Study法を実施する前に ^{11}C - CO_2 のガスをスパイロメータで吸引させて脳血流量のイメージを作る定性的な測定も行った。

図1 PETにおける脳血流量の測定法(steady study法)

サイクロトロンで生産された C^{15}O_2 および $^{15}\text{O}_2$ ガスをスパイロメータで順次吸引させ、血中ガス濃度が平衡になったところでPETによるCTスキャンを行なう方法であり、血中ガスの分析により定量的に脳血流量を測定することができる。

3) PET イメージの撮影部位

PET イメージのスライスインはいずれの場合もOM45とOM80で行った。図2にそれぞれのスライスインの断層画像の脳地図を示す。これらの断層面はいずれも鍼通電刺激のパスウエーを検討する上で重要な部位にあたる。

図2 PET イメージの脳地図

OM45およびOM80におけるスライスインの断層面図である。OM45では視床部が、OM80では全体の脳皮質が確認できる。

4) 鍼通電刺激方法と刺激部位

鍼通電刺激の方法は片側の手三里(+)-合谷(-)を刺激部位とし、2 Hzで筋収縮の生ずる程度の強さで15分間通電した。

5) 画像処理

画像処理は筆者らと島津製作所で開発した鍼灸医学用画像解析システムを使用した。定性的な方法による測定の場合は、ノーマライズした画像をコンピュータで重ね合わせ、刺激前後の差を求め、刺激前値に対する増減率を算出した(図3)。

図3 画像解析措置によるPET イメージの画像処理

ノーマライズした鍼通電刺激前後のPET画像を画像解析装置上で重ねあわせ、グルコース代謝の増減率を求めた。

III 研究結果

1. 脳グルコース代謝に及ぼす効果

図4は脳動静脈奇形患者(15歳, 女性)のポジトロンCTイメージである。刺激部位は左合谷一手三里である。

OM40

OM75

刺激前

刺激後10分

図4 鍼通電刺激前後における局所脳グルコース代謝のPETイメージの変化

動静脈奇形患者におけるグルコース代謝のPETイメージである。刺激部位は左合谷一手三里, 刺激後は刺激部位の対側の前頭葉から側頭葉にかけてグルコース代謝の亢進が認められた。

OM45では刺激側と反対の対側皮質部, 特に前頭葉から側頭葉にかけてグルコース代謝の亢進が認められた。一方, OM80ではその効果は対側皮質部にとどまらず同側皮質部にも及ぶことを示した。このように鍼通電刺激は大脳皮質に対し, かなり広範囲に影響することがわかった。

しかし, どの領域でどの程度グルコース代謝が変化するのはPETイメージだけではわかりにくい。そこで鍼通電刺激前後のPET画像を重ね合わせ, PETイメージ上にROI(関心領域)を設定し, その部位のグルコース代謝のアクティビティーの増減率(刺激前に対する百分率)を算出した(図3)。

図5は左前頭葉腫瘍摘出患者(40歳, 女性)の鍼通電刺激前後における局所皮質グルコースの代謝の増減率である。刺激部位は右合谷一手三里である。OM45では前頭葉から側頭葉の一部および視

図5 鍼通電刺激前後における局所脳グルコース代謝の増減率の変化

左前頭葉脳腫瘍患者の鍼通電刺激前後におけるグルコース代謝の増減率を示した。刺激部位は右合谷一手三里, 刺激側と対側の視床および皮質部においてグルコース代謝の亢進が認められた。

床にROIを設定し, OM80では前頭葉から頭頂葉, 側頭葉にかけてROIを設定した。

OM45の皮質部(前頭葉から側頭葉)では刺激側と同側の右側で4%~5%, 刺激の対側である左側で6%~7%の代謝亢進を示し, 両側の皮質への影響が認められるものの対側への影響がより強いことを示した。視床部では右側で2%, 左側で8%~9%の代謝亢進を示し, 対側への影響の強いことを示した。

OM80でも刺激側と同側の皮質では2%~4%とわずかに代謝亢進を示したのに対し, 対側皮質では6%~9%と高い代謝亢進を示し, 対側皮質への影響の強いことを示した。

図6はMCA狭窄患者(42歳, 男性)の鍼通電刺激

前後における局所皮質グルコース代謝の増減率である。刺激部位は右合谷一手三里である。OM45では前頭葉と側頭葉および視床に、OM80では前頭葉にそれぞれROIを設定した。

OM45の皮質部(前頭葉から側頭葉)では刺激側と同側の右側で前頭葉の一部(上前頭回)において5%のやや高い代謝亢進が示したが、その他の部位は1%~2%と非常に低い値であった。しかし、対側皮質部の左側では前頭葉から側頭葉にかけて7%~9%の高い代謝亢進を示し、図5の症例と同様対側への影響が強いことを示した。視床部では刺激側と同側の右側では1%~2%と低く、対側の左側では視床後部で7%~9%の高い代謝亢進を示した。

図6 鍼通電刺激前後における局所脳グルコース代謝の増減率の変化

MCA 狭窄患者の鍼通電刺激前後におけるグルコース代謝の増減率を示した。刺激部位は右合谷一手三里、図5と同様刺激側と対側の視床および皮質部においてグルコース代謝の亢進が認められた。

OM80では左右両側の前頭葉で同程度の代謝亢進(4%~7%)を示し、片側の鍼通電刺激であっても両側皮質に影響を及ぼすことは明らかなようである。

図7~図9は各種疾患患者の鍼通電刺激前後における局所脳グルコース代謝の増減率である。刺

図7 鍼通電刺激前後における局所脳グルコース代謝の増減率の変化

刺激側と対側の前頭葉から側頭葉にかけてグルコース代謝の亢進が認められた。

図8 鍼通電刺激前後における局所脳グルコース代謝の増減率の変化

刺激側と対側の前頭葉から側頭葉にかけてグルコース代謝の亢進が認められた。

図9 鍼通電刺激前後における局所脳グルコース代謝の増減率の変化
刺激側と対側の前頭葉から側頭葉にかけてグルコース代謝の亢進が認められた。

刺激部位は片側の手三指-合谷、OM45とOM80においてROIを設定した。

OM45, OM80のいずれも刺激側の対側皮質の前頭葉から側頭葉にかけてグルコース代謝の亢進を認めた。

2. 脳血流量に及ぼす効果について

図10はOM45mmにおける39歳の健康成人男子ボランティアの左側合谷-手三指の鍼通電刺激前

図10 鍼通電刺激前後における局所脳血流量のPETイメージの変化

健康成人男子の鍼通電刺激前後における局所脳血流量のPETイメージである。刺激側と対側の上前頭回、下前頭回、中心前回およびその周辺の脳血流量の増加を示すイメージに変化した。

後における脳血流量と酸素消費率のPETイメージである。

鍼通電刺激前後で比較すると上前頭回、下前頭回、中心前回とその周辺に相当する部位で脳血流量および酸素消費率の増加が認められた。特に刺激反対側の皮質部で明瞭な変化を示した。

図11は30歳健康成人男子ボランティアの左合谷-手三指の鍼通電刺激前後における脳血流量の変化量を示す。この症例の場合、OM45mmで前頭葉と側頭葉の皮質上にROIを設定し、刺激前後の脳血流量の変化量を脳組織100g当たり1分間の血流量(ml/min)として定量的に求めた。

図11 steady study法による鍼通電刺激前後における脳血流量の測定

健康成人男子の鍼通電刺激前後における局所脳血流量の変化量を示す。刺激部位は左合谷-手三指、刺激後は対側の前頭葉および側頭葉において30ml/min/100gの脳血流量の増加が認められた。

その結果、図で示すように刺激側と反対の右側皮質部で脳血流量は増加し、多いところで30ml/min/100g以上の増加を示した。一方、刺激と同側の左側では前頭葉の一部(上前頭回)で40ml/min/100gの著しい脳血流量の増加を示したものの他の部位ではいずれも右側に比べて低かった。

以上のように鍼通電刺激によって脳血流量は増加する傾向を示した。

IV 考 察

ポジトロンCT(Positron Emission Computed Tomography: PET)とはベビーサイクロロンで

作られた各種のポジトロン放出核種を投与することによって脳神経細胞の機能(生化学的な代謝過程や神経化学物質の分布)や血流量の動態を断層画像として表示する技術のことである³⁻⁵⁾。

現在、PETでは脳神経細胞のグルコース代謝、アミノ酸代謝、蛋白合成率、酸素摂取率といった代謝系の測定、血流量、血液量、酸素消費量といふ物質の分布、ベンゾジアゼピン・リセプターの活性や分布といった神経伝達物質の測定が可能である¹⁰⁻¹²⁾。つまりPETの技術を駆使することによって脳や身体諸器官の機能図をイメージングし、診断、治療効果の判定、さらに発病のメカニズムを追及することが可能となった。

したがって鍼灸刺激が中枢神経系にどのような影響を及ぼすかを明らかにするにはPETの応用が不可欠である。特に鍼刺激の中枢神経系内における伝達経路、刺激部位と大脳皮質機能との関連性、鍼刺激時の中枢神経系内における神経伝達物質の挙動などの解明には非接触、無侵襲的に測定ができるPETは大きな威力を発揮する。

まず鍼通電刺激によるグルコース代謝について検討してみた結果、OM40～OM45のPET画像では刺激側と対側の前頭葉から側頭葉にかけてグルコース代謝は亢進する傾向を示した。これに対してOM75～OM80のPET画像では対側皮質のグルコース代謝は亢進するものの同側皮質にも影響し、両側皮質のグルコース代謝の亢進が認められた(図4)。このことはノーマライズしたPET画像の刺激前後のサブトラクション(画像間の差)によっても明らかであった(図5～図9)。

これらの現象は合谷一手三里の鍼通電刺激によって対側皮質を刺激する系と大脳皮質全体を刺激する系の両方が同時に刺激されることを示唆する。つまり特殊投射系による鍼刺激感覚の伝達と非特殊投射系による大脳皮質機能の意識水準への影響が同時に起こったことを示すものである。

大脳皮質機能を表す指標として脳波がある。筆者らは脳波トポグラフィ法を用いて鍼通電刺激の大脳皮質活動への影響を検討しているが、合谷一手三里の鍼通電刺激では全皮質領域にわたり広範囲にdiffuse α 波が出現することを確認している^{1,2)}。この現象は非特殊投射系を介した反応とみること

ができる。つまり合谷一手三里の鍼通電刺激によって非特殊投射系が影響されることによって大脳の意識水準が鎮静的に誘導され、その結果としてdiffuse α 波が出現したものと考えられる。ここでPETの結果と脳波トポグラフィの結果を合わせて検討すると鍼通電刺激の非特殊投射系への関与はかなり強いようである。

合谷一手三里の鍼通電刺激はよく鍼麻酔に使用される方式である。鍼麻酔の鎮痛効果における神経機構については網様体一視床一大脳皮質間の神経回路、特に非特殊投射系の関与が支持されている¹³⁾。すでに成書の示すとおり非特殊投射系は特異的な機能を有せず、むしろ大脳の意識水準を調整する重要な役割を持つ。本実験の結果は非特殊系の関与をグルコース代謝のイメージングにより、ある程度明らかにしたものと云えよう。

一方、Steady studyによる脳血流量および脳酸素消費率の定量的測定法では合谷一手三里の鍼通電刺激によって対側の前頭葉および側頭葉の血流量および酸素消費率の増大を示した(図10)。脳血流量の増加は脳皮質の部位によっても異なるが、およそ20ml～30ml/100g/min前後であり、前頭葉領域では最大で40ml/100g/minの増大を示した(図11)。

大脳皮質では機能の局在が存在する。したがって大脳皮質活動の状況に応じてグルコース代謝や局所脳血流量の分布は変化する。例えば光刺激では後頭葉が活動し、聴覚刺激では側頭葉が活動する。このように固有な感覚刺激が加えられたとき、これらの感覚は特殊投射系によってそれぞれの中核に伝達され、局在的に皮質活動は亢進する。これらのことはすでにPETによってin vivoで明らかにされている^{14,15)}。

一方、意識水準などの大脳全体の働きの場合は大脳皮質の活動状況は固有感覚時のそれとは様相を異にするといわれている。つまり局在的な活動亢進パターンよりもむしろ領域的な広がりをもつ活動亢進パターンを示す。例えば安静状態では前頭葉および側頭葉領域の血流量は平均よりも多く、特に前頭葉領域の血流量の増大が報告されている¹⁶⁾(放射性同位元素キセノン133を使用して測定された結果による)。本実験における脳血流量の変化は

安静状態の脳血流量分布パターンに類似しており、鍼通電刺激によって鎮静状態が誘導されたことを局所脳血流量の面からもある程度明らかにしたものとする。そして当然ながら脳血流量の増大は脳細胞の代謝活動亢進のベースになるものであり、脳細胞のグルコース代謝の亢進を招いたものであろう。以上のことから、脳血流量の面からも鍼通電刺激は非特殊投射系に関与することをある程度明らかにしたものとする。

V 結 語

片側の合谷―手三里の鍼通電刺激が中枢神経系に対する影響についてポジトロンCTを使用して局所脳グルコース代謝および局所脳血流量の面から検討した。その結果は以下の通りである。

- 1) OM40～OM45において刺激側と対側の前頭葉および側頭葉領域においてグルコース代謝は亢進した。
- 2) OM80において前頭葉、頭頂葉、側頭葉において両側性にグルコース代謝が亢進する例を認めた。
- 3) OM45において局所脳血流量は刺激側と対側の前頭葉、側頭葉で増加した。しかし、前頭葉では両側性に脳血流量は増加を示した。

謝 辞

PETの実験については国立中野病院放射線科飯尾正明先生の多大なご協力を得ました。また、PETの画像解析については老人研の外山比南子博士の協力を得ました。両氏に対し心から感謝申し上げます。

なお、本研究は第33回～第36回の学術大会に発表した。

参考文献

- 1) 矢野 忠, 丸山彰貞, 田中淳子ほか: 鍼通電, TENSによるEEGトポグラムの変化, 明治鍼灸医学, 創刊号, 55～64.(1985)
 - 2) 森 和, 矢野 忠, 尾崎昭弘: EEGトポグラムによる針の効果機序に関する研究, 東洋医学の科学的実証―証, 経穴の科学的実証及び生薬刺激の確保に関する研究, 薬事時報社, 430～439.(1986)
 - 3) 飯尾正宏: 画像診断の展望, 診断と治療 70(8); 1461～1463.(1982)
 - 4) 館野之男編集: ポジトロンCT, 1版, 医学書院, 東京(1983), p.102～118.
 - 5) 松浦啓一, 中尾弘之, 小嶋正治: 脳の機能とポジトロンCT, 1版, 秀潤社, 東京(1988), p.101～130.
 - 6) 添田敏幸, 北村 伸, 氏家 隆ほか: ^{11}C グルコースの脳内動態について, 核医学 20;997.(1983)
 - 7) 赫 彰郎, 添田敏幸: 脳循環代謝―特にPETについて―, 治療 66(1);7～12.(1984)
 - 8) 菅野 巖, 上村和夫: 局所脳血流代謝の新しい測定法, 病態生理 4(1);7～15.(1985)
 - 9) 松浦啓一, 中尾弘之, 小嶋正治: 脳の機能とポジトロンCT, 1版, 秀潤社, 東京(1988), p.104～106.
 - 10) 山崎統四郎, 館野之男, 井上 修ほか: PETによるレセプターマッピング, 病態生理 6(7); 523～528.(1987)
 - 11) 松浦啓一, 中尾弘之, 小嶋正治: 脳の機能とポジトロンCT, 1版, 秀潤社, 東京(1988), p.117～126.
 - 12) 井上 修, 館野之男: PETによる脳のレセプター測定, 神経進歩 34(5);714～722.(1990)
 - 13) 池田悦太郎: 針麻酔に関する研究の概要, 針麻酔の臨床と基礎, 克誠堂, 東京(1975), p.115～128.
 - 14) 松浦啓一, 中尾弘之, 小嶋正治: 脳の機能とポジトロンCT, 1版, 秀潤社, 東京(1988), p.134～142.
 - 15) 上村和夫, 菅野 巖, 藤田秀明: 脳循環代謝測定による局所脳動作の解析, 神経進歩 34(5); 702～713.(1990)
 - 16) N.A. ラッセル, D.H. イレグバール, E. スキンホイ: 脳の働きと血流量, 別冊サイエンス(日本版) 50;148～189.(1982)
- (〒629-03 京都府船井郡日吉町
明治鍼灸大学内)

Effects of Electro-acupuncture on Regional cerebral blood flow and Regional cerebral glucose utilization

Tadashi Yano and Kazu Mori

Department of oriental medicine, Meiji college of oriental medicine

Summary

The effects of electro-acupuncture on the regional cerebral blood flow (rCBF) and regional cerebral glucose utilization (rCMRglc) are unknown.

We examined the rCBF and rCMRglc in five normal adult volunteers and ten patients with cerebrovascular accident and brain tumor using positron emission tomography (PET) in order to investigate the effects of acupuncture on functions of central nerve system.

The stimulation by electro-acupuncture was performed on HOKU and SHOU-SANLI on one side. Electro-acupuncture was done for 10 minutes, at the frequency of 2 Hz to cause a slight muscle twitch. The rCBF and rCMRglc in volunteers were measured before and after electro-acupuncture stimulation.

The results are as follows ;

- 1) On the OM45mm slice image, stimulation to HOKU and SHOU-SANLI on one side increased the rCBF and rCMRglc of frontal and temporal lobe on the opposite side of stimulation.
- 2) On the OM80mm slice image, electro-acupuncture increased the rCBF and rCBFglc of frontal and temporal lobe on both the right and left side.

These results suggest that stimulation of electro-acupuncture may influence the rCBF and rCMRglc.