

人体経絡線の自動追跡の可能性：基礎実験

(平成5年10月25日 原稿受付)

中国新疆工学院 朱 東 華
制御工学教室 大 山 光 夫
制御工学教室 山 下 忠 一
制御工学教室 小 宮 勤 一

Feasibility Study of Automatic Tracing of Human Jin-Luo Line: Basic Experiments

by Donghua ZHU
Mituo OHYAMA
Tadashi YAMASHITA
Kin-ichi KOMIYA

Abstract

Jin-Luo theory plays a very important role in Chinese medical treatments. We have done some research works on tracing Jin-Luo line accurately by making specific sensor to detect it for realizing automatic massaging and infrared therapy treatment in the future. These experimental data are described in this paper.

1. まえがき

按摩を含む経絡療法は、独自の歴史と理論を持ち、中国の伝統医療の中で重要な位置を占めている。この理論から経絡線に沿って赤外線療法も発展してきた。

按摩や赤外線療法を行う場合には、病変の経絡線を正確に追従させることが最も重要なことである。これが療効に直接影響する。このために、今様々な「ツボ探測器」が使われている。しかし、これらの深測器はツボに対しては探測精度が十分であるが、経絡線はまだ十分探測できない。また手動探測なので、速度も遅い。

本研究は経絡線の自動探測に関する基礎的研究であり、将来の按摩や赤外線用治療ロボットへの布石でもある。

2. 経絡線の探索可能性

2.1 経絡線とツボ特性

人体の経絡システムは複雑であるが、以下のような特性があることが知られている^{[1][2]}。

1. 経絡理論によれば「気血」という人体エネルギーの

通路を「経絡線」と言う。

- 「医療電子工学」的には経絡線の電気抵抗は低抵抗を示し、この経絡線の中で、特に低抵抗の点がいわゆる「ツボ」と称されていることがわかっている。
- 図1 aのように「ツボ」は経絡線上にあって、その始点、通過点、終点とも言える。
- 図1 bに示すように経絡線は曲線である部分もあるし、直線である部分もある。経絡線は空間三次元的に分布しており、一般に空間曲線となっている。
- 人体の経絡線の間隔とその線上のツボの間隔はそれぞれ違う。
- 図1 cのように経絡線が人体の軸線に対して平行分布している部分も多い。
- 人の「足太陽膀胱経」と「督脈」という経絡線の間隔が特に近い。図1 cのように身長175cmの人に対してその間隔は約24mmであり、ツボの間隔は25mm—56mmの範囲内にある。

以上の特性は本研究でも参考にし、また利用した。

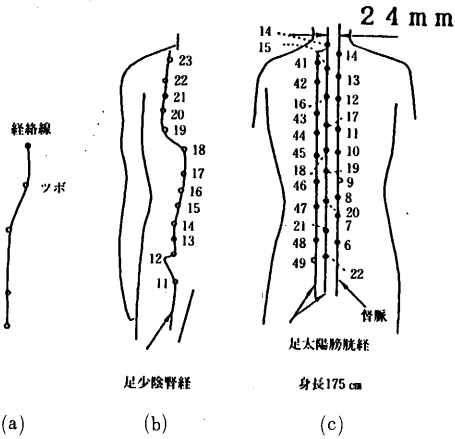


図1 経絡線とツボの特性

2.2 検出回路

自動探測を目的に、経絡線の特性と按摩及び赤外線療法
の要求をまとめると、次の2点が大切である。

1. 「医療電子工学」的に経絡線は皮膚より電気抵抗が低いという特性がある。
2. 按摩と赤外線療法では経絡線に沿った治療を連続的に行うことが必要である（ツボ点だけの鍼灸とは要求が違う）。

すなわち、経絡線と皮膚を明確に区別する低抵抗信号点を見出すことが最も重要なことであるが、経絡線とツボとの差による低抵抗信号を区別することは必要ではなくなる。この考えを基に専門の検出回路、図2を作った^[3]。

その原理は以下の通りである。オペアンプの1, 2はバッファである。人体の測定電圧信号はオペアンプ1を経てIC1, IC2のオペアンプ及びそれらに接続されているC, R類（ノイズフィルター）に入り、誤判断の主因

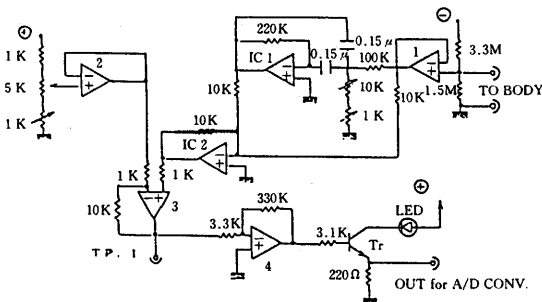


図2 検出回路

であるACノイズが軽減される。オペアンプ2の入力側には、人によって皮膚電気抵抗が違うことに対応するための調整電圧が入力される。これらのオペアンプのゲインは1である。オペアンプ3はコンパレータであり、ノイズフィルターとオペアンプ2からの電圧がコンパレータで比較増幅される。TP.1は指示器の調整をしやすくするための検査点である。ここで偏差分を取り出す。オペアンプ4で偏差分を増幅（ゲインは60dB）し、終段のトランジスタで電流変換して、指示器（LED）を点灯させる。同時にエミッタ抵抗の両端で電圧変化を取り出している。

今回の試作装置には、上述の回路が5チャンネル分ある。

2.3 接触子の使用方法

図3に接触子とそれを人体に接続した様子を示す。接触子の1端（負電位側）をツボもあり敏感区である手の中において、5つの接触子（正電位）端は測定部位の経絡線に沿って、探測を行う。正電位側の接触子（A）は5つの接触子とスプリング等を組み合わせている。なお、各接触子の大きさは直径3mmであり、接触子間の間隔は、経絡線の間隔に対応できるように、調節できるようになっている。

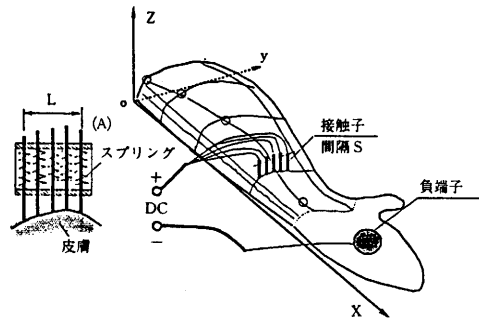


図3 接触子の位置

2.4 探測方法

図4に、今回試作した実験システムの構成を1チャンネル分示す。人体に接続された5つの接触子からの信号はバッファ1を経てノイズフィルターに入る。バッファ2の入力側には調整電圧が入力される（このバッファ1, 2は図2のオペアンプの1, 2に対応している）。これらの電圧がコンパレータで比較増幅される。そして、これら5つの信号がA/Dコンバータを経てパソコンへ入力される。

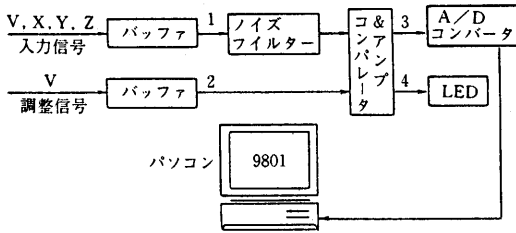


図4 試作した実験システム

図5では、接触子の間隔 S が4mmの場合について、正電位の接触子をX方向に沿って、20mmの間隔で移動して測定する様子を示している。A/Dコンバータは接触子1から接触子5まで順番に信号を検出し、パソコンで5つの信号の大きさを比べ、発生した最低電圧信号の接触子の位置（記号⊗で図示されている） X_1, Y_1, Z_1 を読み取る。以上が測定の1ステップである。つぎに、接触子の中心である接触子3がこの最低信号の位置にくるようにYの方向へ移動して、Xの方向へ20mm移動し、次のステップの検出を行う。

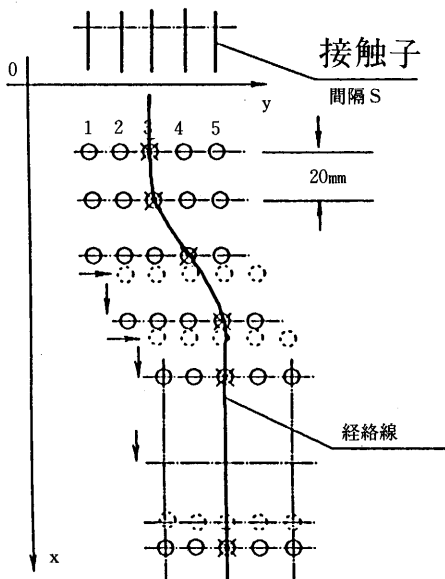


図5 経絡線探索のための接触子の使用法

3. 実験方法

様々な雑音信号や検出回路にドリフトがあるので、探測時に接触子が人体に接触するとA/Dコンバータは5つの接触子から、サンプル時間 $25\mu s$ で、人体の測定電圧値を3回繰り返して検出し、これら3回の値の平均値をその点の測定電圧とする。

なお、今回の実験では各ステップでの接触子の移動は手動で行った。

3.1 ツボ点の測定電圧例

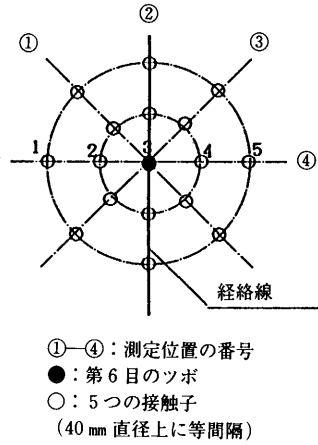
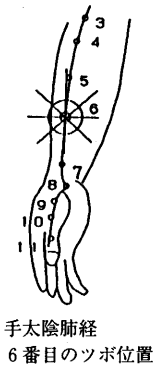
図6に、人の「手太陰肺経」と言う経絡線の第6番目のツボを探測後、その近傍の直径40mm以内の実測電圧値を示す。番号①から番号④までの探測位置はSTEP1からSTEP4に対応し、各測定でのデータが示されている。STEP2のデータが経絡線上の測定電圧であり、経絡線の最高電圧が2.05Vであり、STEP3のデータより皮膚の最低電圧が0.5Vであることがわかる。一方、ツボ点の最高電圧は0.30Vである。これらの結果より、ツボの特定に比べ、一般皮膚と経絡線の区別は難しいことがわかる。

3.2 経絡線の探索例

図5の方法で経絡線「足太陰脾経」を探索した結果の1例を図7に示す。ここで、(a)は測定電圧の最低位置へ接触子3を各ステップで移動しつつ測定した結果である。3.1でも述べたように一般皮膚と経絡線上の点での電圧差が明確でない場合も生じるので、この(a)の結果は経絡線を正確に探検していないと考えられる。また、探索した経絡線に沿って治療を行う場合、ある幅をもった線に沿う治療操作が必要となる。これらのことを考慮すると、同図(b)の実線で示す線を実験結果とする方が望ましい。(a)の実測結果を修正して(b)の結果を得るためには、各ステップでの経絡線位置を決定するのに、その前後のステップの実測結果も考慮する必要があることがわかる。実測電圧値を修正して、より正確なあるいは治療上の要求に合う、経絡線の求め方について考えてみよう。1つの方法は、経絡線に許容幅を導入する方法であり、第2の方法は同一の最低信号が複数個の接触子により得られたときの処理の仕方である。それぞれについて以下で考察する。

3.3 許容幅の導入による方法

新しいステップで測定された最低信号の位置が、今までの測定によって得られた経絡線の延長線上、あるいは



| | | | | | |
|--------|------|------|-----|------|------|
| STEP 1 | 2.05 | .7 | .25 | .67 | 2.05 |
| STEP 2 | 2.05 | .71 | .24 | .31 | 1.63 |
| STEP 3 | 1.43 | .65 | .21 | .5 | .6 |
| STEP 4 | 2.05 | 1.36 | .27 | .67 | 1.84 |
| STEP 5 | 1.43 | .39 | .30 | 1.39 | 2.05 |
| チャンネル | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

各測定位置でのチャンネルの測定電圧 (単位V)

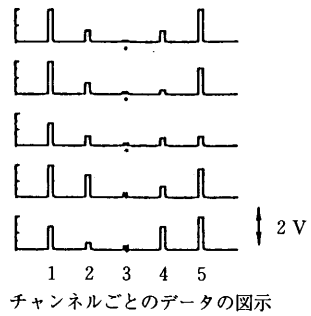


図6 ツボ点近傍の測定電圧例

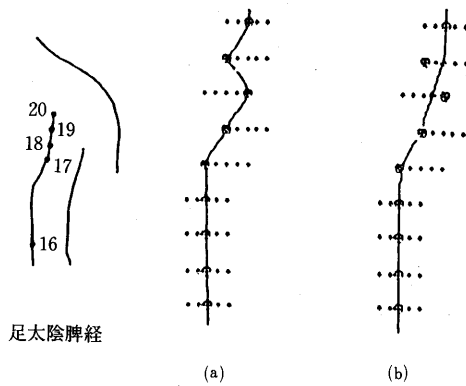


図7 探索例

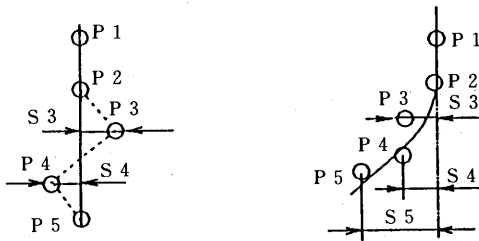


図8 許容幅を導入した場合の考え方

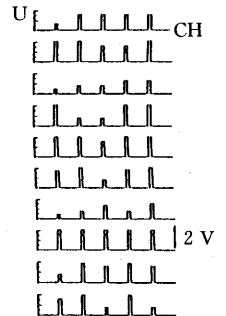
指定した許容幅内で延長線からずれている場合、新しい測定位置を経絡線上の点とする。この場合の考え方を図8に示す。左側の図では今までの測定により、点P1、P2を通る直線として経絡線が確定されているとしている。次のステップで最低信号を出す点P3の位置が直線からずれていても、そのずれ幅S3が許容幅内であれば、P3点は経絡線上の点とし、点P2とP3を結ぶ線分で、経絡線上の新しい部分を定義する。

もし、S3の値が許容幅より大きい場合、P3についての判断を一時保留して、次のステップへ移り、最低信号の点P4を求める。点P4でのずれS4が許容値内であれば、点P3での測定では誤差が大きかったとし、点P1からP4について最小2乗近似の考え方で、この間の経絡線を確定する。さらに、S4が許容幅より大きい場合には、点P3とP4が確定されている経絡線(点P1とP2を通る直線)の延長線のどちら側に存在しているかで判断する。すなわち、(1) 2点が延長線の反対側に存在する場合は線形回帰近似で、(2) 2点が同一側に存在する場合(図8の右側に示されている場合) 2次曲線近似で、それぞれ経絡線を確定する。なお、上記の近似法についてはその要点は付録2を参照して頂きたい。

3.4 同一最低信号の処理

実測中にもし人の経絡線とツボ自体の幅が接触子の間隔より広くなると、あるいは実験室の湿度が大きくなったりすると検出した信号が5つとか3つと同じになる場合がある。たとえば、図9のように検出した信号が同じになると経絡線を追従しにくい。しかし、経絡線が人体の軸線に平行分布している部分でこのような結果が出た場合には、その修正処理は簡単である。すなわち、もし5つの接触子の信号が同じになったら、真ん中の接触子3を選び、もし2つの信号が同じになったら、接触子

| | | | | | |
|---------|------|------|------|------|------|
| STEP 1 | .66 | 1.63 | 1.61 | 1.64 | 1.63 |
| STEP 2 | 2.13 | 2.13 | 1.63 | 1.63 | 2.13 |
| STEP 3 | .47 | .82 | .81 | 1.29 | 1.29 |
| STEP 4 | 2.12 | .83 | .81 | 2.12 | 2.12 |
| STEP 5 | 2.11 | 2.11 | 1.61 | 2.11 | 2.11 |
| STEP 6 | 1.76 | 2.1 | .84 | 1.88 | 2.07 |
| STEP 7 | .46 | .83 | 1.44 | .76 | 1.64 |
| STEP 8 | 2.09 | 2.09 | 2.09 | 2.09 | 2.09 |
| STEP 9 | .8 | 1.89 | 1.64 | 1.89 | 1.64 |
| STEP 10 | 1.6 | 1.97 | .77 | 1.98 | .77 |
| チャンネル | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |



各チャンネルの測定電圧(単位V) (「┐」ツボ, 「┌」ケイラク)

図9 同じ最低信号の処理

3に近い接触子を選べばよい。

4. 実験結果と誤差分析

図10に20代前半の九州工業大学学生5人に対して追従した「手少陽三焦経」という経絡線の結果を示す。同図中に示した、標準的経絡線図と比較し、個人差と思われる違いが若干みられるが、良好な結果が得られたことがわかる。これらの結果の有効性を検討してみよう。

今回の実測結果によると、人の皮膚、経絡線、ツボの電圧信号がそれぞれ違う。すなわち被験者全体14人の実測結果を集計するし、皮膚電圧の範囲が約2.11V~1.35V、経絡線が1.35V~0.94V、ツボが0.94V~0.12Vであった。このようにツボ点は明らかに低信号なので問題は少ないが、経絡線の場合はそんなに明確に区別できない。特に皮膚と経絡線との境界線ではどちらの範囲に属するかが明確ではない場合も多くある。この点を考え、以下のような誤差分析を行った。

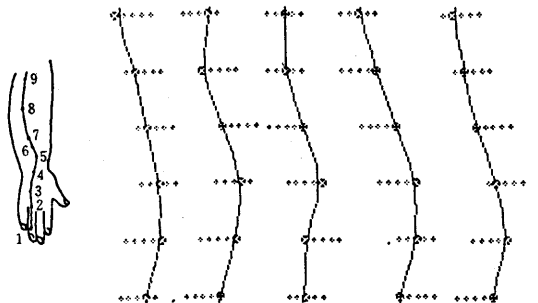


図10 5人の「手少陽三焦経」測定結果

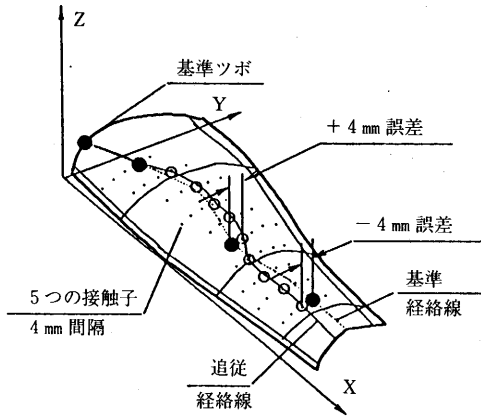


図11 誤差分析

図11のように先ず経絡線の参考図と身長割合を参考に、基準とする経絡線のツボを測定する。測定された部位における基準ツボ点を黒丸点で書く。それから探測を行いながら、追従した線を実線で書く。基準ツボ点の位置と追従した経絡線とを比較することにより、追従誤差の分析を行うことができるようになる。実測結果によると追従の最大誤差が±4mmであった。中国医療では経絡線に対して按摩の最小幅が±5mmであり、赤外線最小照射幅が±7mmといわれている^[4]。

これによると以上の結果は一応十分な精度である。でもこの追従精度は、±1.5mmの幅の鍼灸要求に対して十分ではない。

5. おわりに

本論文では、経絡線の客観的探索可能性について、試作センサによる実験結果を報告した。本研究で検討した、皮膚2点間の電気抵抗変化による経絡線探索では、接触圧力、湿度、被験者の生理、心理的条件等によって実験結果が影響される可能性は大きい、試作センサで経絡線の探索が可能なが示された。

今後の発展については付録1に、また本文中で詳細を省略した実験値の処理方法については付録2に、それぞれまとめて説明する。

謝 辞：

本報告を作成するにあたり被験者となって頂いた山下研究室の多くの学生諸君、ならびに中国から九州工業大

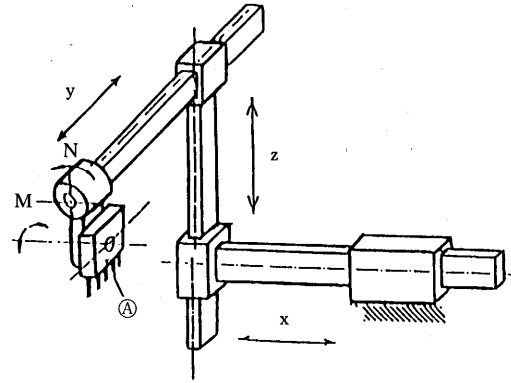


図12 接触子の構造

学を訪問し、研究中の王新明、徐政、秦偉方の諸氏にお礼と感謝を申し上げます。

付 録：

1. 接触子の構造と自動追従システム

図12に自動探測用の接触子の構造を示す。接触子①はX、Y、Zの方向へ往復移動を行う。そして人体の複雑な曲面に適応するためにさらに2つの回転の自由度(M、N)がある。接触子①の中に5つの接触子、滑り抵抗器、スプリング等を組み合わせて、接触子の高さZは滑り抵抗値に対応するように製作する。

自動追従システムでは、接触子①からの信号は5つのチャンネル検出器を経て、A/Dコンバータへの入力となり、経絡線の低信号をパソコンで判断して、対応の位置を確定する。またはパソコンからの位置信号はD/Aコンバータを経て、電圧増幅器、駆動器への入力となり、接触子を次の位置へ移動させたり、探測させたりするような自動追従を行うことが可能となる。

2. 線形回帰関数による誤り点の判断

① 線形モデルに対する最小2乗法では、各誤りデータからデータが直線傾向を示している線分までのY軸方向の距離の平方の和を最小にする。ここで回帰直線で表現するモデルをつぎのようにおく。

$$y = a_0x^0 + a_1x^1$$

誤り点から回帰直線までの距離、

$$S(x, y) = \sum_{i=1}^n (a_0x_i^0 + a_1x_i^1 - y_i)^2$$

に対し、 $\frac{\partial S}{\partial a_0} = 0$ 、 $\frac{\partial S}{\partial a_1} = 0$ の条件より、未知パラメータ a_0 、 a_1 の値を求める。

② 実験の結果によっては、各データが直線的な傾向を示さないこともある。この場合に、2次曲線近似を用いる。このモデルをつぎのようにおく。

$$y = a_0 x^0 + a_1 x^1 + a_2 x^2$$

対応する距離、

$$S(x, y) = \sum_{i=1}^n (a_0 x_i^0 + a_1 x_i^1 + a_2 x_i^2 - y_i)^2$$

に対し、パラメータに関する偏導関数を0にする条件より、 a_0 、 a_1 、 a_2 値を求める^{[5][6]}。

参考文献

- [1] 金 意成：「按摩学」上海科学文献出版社，P.169，1983.
- [2] 段 穆德：「医療電子学概論」科学技術文献出版社，P.73，1987.
- [3] 大山 光夫，朱 東華，山下 忠，小宮 勤一：「指圧医療における最適刺激点（ツボ）及びその経路（経絡線）の検出用センサの試作」第14回バイメカニズム学術講演会予稿集，名古屋，1993年10月18日～19日，PP.37～40.
- [4] 呉 更偉：「精易按摩法」河北科学技術文献出版社，P.66，1990.
- [5] 足立 紀彦：「数値計算」森北出版株式会社，P.28，1980.
- [6] 合田 周平：「ロボット工学」コロナ社，P.116，1977.