

# 関節鏡視像の変形補正に関する研究 ——第1報 関節鏡視下描画装置の開発——

帝京大学医学部 整形外科

榊原 壤・陳 永振・菊池公男・田中廣光  
新井秀世・若山和宏・渡辺正毅・立石昭夫

慶応義塾大学理工学部

榊原 潤

# 関節鏡視像の変形補正に関する研究 ——第1報 関節鏡視下描画装置の開発——

帝京大学医学部 整形外科

慶応義塾大学理工学部

榊原 壤・陳 永振・菊池公男・田中廣光

榊原 潤

新井秀世・若山和宏・渡辺正毅・立石昭夫

## はじめに

関節鏡視下手術は整形外科の治療手段として定着してきているが、なお高度の熟練を要する技術である。これは、それが関節鏡という一種の魚眼レンズを通しての操作のため、対象の量的把握が困難であることに一因がある。

1982年、筆者らは関節鏡視像の歪みと、遠近により像の大小が誇張される点について検討を加えて報告した<sup>2)</sup>。その後、その変形の補正法について試みを重ねてきた。

鏡視像の変形の補正法としては次の3つが考えられる。

- 1) 光学的方法
- 2) 画像変換による方法
- 3) 描画装置

このうち、1)の光学的方法は、関節鏡の広い視野角と深い焦点深度を犠牲にすることなしには不可能であることがわかった。2)の画像変換による方法は、関節鏡の光学的特性をコンピューターに入力し、ディスプレイ上に肉眼視に近い像を得る方法である。現在のところ、レンズの歪曲収差の補正は可能であるが、広角レンズにおける遠近による像の大小の誇張がなお修正されていない。これを補正するためには、関節鏡先端と対象との距離を知る必要がある。このためには立体関節鏡の開発が必要と思われる。

今回は、いわば間接的補正法である3)の関節鏡視下描画装置 arthroscopic tracer system というべきものを試作し、膝関節鏡模型を用いて実験を行い、臨床応用の見通しが得られたので報告する。

## 関節鏡視下描画装置の構成

これは、まず関節鏡視下に2点法で挿入したプローブの先端の軌跡をディスプレイ上に描くことを目的としたものである。センサー・アーム、位相検出器とパルス・カウンター、コンピューターおよびディスプレイから成る。

### 1) センサー・アーム (Fig. 1)(巻末)

先端に長さ100mm、径3mmのプローブ(最先端は径1mm)をつけた、ロボットのアームのようなもので、一種の3次元 digitizer である。2軸関節2か所、滑動装置1か所を有している。すなわち自由度は5である。滑動装置はタイミング・ベルトを使って直線運動を回転運動に変換した。回転角を測定するセンサーとして、回転角度にしたがって電氣的パルスを発生する光学式ロータリー・エンコーダー(東京精機製RIT5)を使用した。これは、1回転で500周期のパルスを発生し、位相検出することにより2000分の1回転(0.18°)の角度変化を測定できる。

### 2) 位相検出器とパルス・カウンター

(Fig. 2)(巻末、矢印)

エンコーダーからのパルスを受ける装置で、そのパルスを位相検出して回転方向をとりだし、カウンターで回転角度を測定する。

### 3) インターフェイス、コンピューター

およびディスプレイ

パルス・カウンターからの信号をインターフェイスを介してコンピューターに入力し、プローブ先端の空間座標を計算し、ディスプレイに表示する。コンピューターはNECのPC-9801Fを使用した。

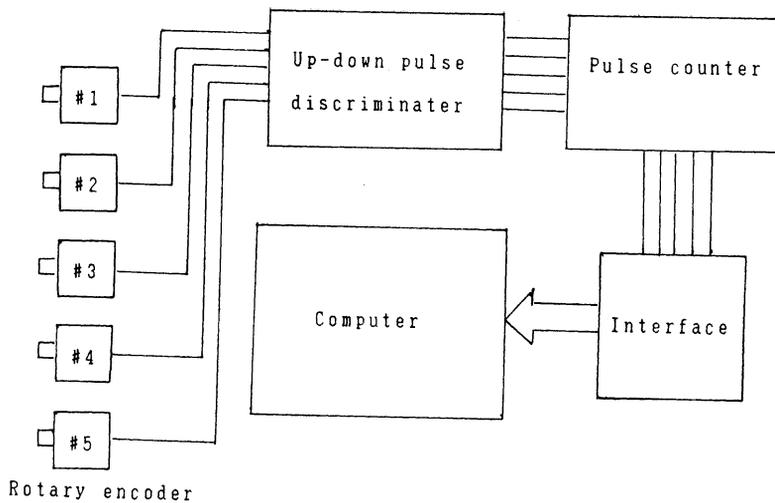


Fig.3 Flow chart

これらをフローチャートに示すと Fig. 3 のようになる。

今回の目的は、関節鏡視下に挿入したプローブ先端の位置を、脛骨関節面を真上からみた像の上に表示することである。そのためのプログラムを作成した。

まず脛骨関節面を近似的に平面と仮定し、プローブ先端で脛骨関節面周囲に設定した3つの基準点をポイントしてこの平面を定め (Fig. 4) (巻末)、次いでプローブを関節面上で動かしてその先端の軌跡をディスプレイに表示する。あらかじめ脛骨関節面の形を作って入力しておき、その上にプローブ先端の軌跡をのせる。すなわち、プローブ先端の軌跡を、脛骨関節面を真上からみた形で、ほぼリアルタイムで表示できた (Fig. 5) (巻末)。半月は variation があるので、参考程度に描いておく。

以上、膝模型を用いての実験では目的とする作動が可能となった。精度も理論値とほぼ等しく、約1 mm で、実用に耐え得るものと思われる。

## 考 按

関節鏡に必要な条件として、①その太さが一定範囲内にあり、②焦点深度が深く、近接視が可能で、③視野角が大きいこと、④像が鮮明で、⑤レンズの収差が小さいこと、などがあげられる。とくに1 mm 程度の近接視が可能で、60° 以上の視野角を有することが必要であり、このため、距離により像の大小

が誇張されること、像の歪みが起こることは不可避である<sup>1), 2), 3)</sup>。

像の歪み (歪曲, distortion) は、レンズにおける5収差の一つであり、光軸に垂直な四角の物体がタル型または糸巻型の像になるような変形を起こす。この歪みは、入射角の3乗の関数といわれ、広角レンズほど、すなわち視野角が大きくなるほど著しく大きくなりやすいという傾向がある。したがって、鏡視像からその大きさや形を直感的に判断することは誤りのもととなる。鏡視下手術に高度の熟練を要するゆえんである。

現在関節鏡視下手術は一種のブームとなっており、手術適応の拡大やさまざまな手術法の試みがなされ、報告されている。しかし、比較的初心者にとって障害となっている鏡視像の光学的歪みに対処する試みは、ほとんどなされていない。

本研究は、画像変換による方法、および鏡視下描画装置による方法により、鏡視像から肉眼視と同等な量的関係を得ることを企図した。

関節鏡の光学特性を解析し、画像変換により肉眼視に近い像を作り出す試みは、不確定要素が多いため、現在のところなお満足すべき結果が得られていない。関節鏡と対象との距離を知る手段として、今後双眼関節鏡の可能性を追及したい。

関節鏡視像の変形補正の間接的方法として、関節鏡視下描画装置を試作し、ほぼ実用化可能な状態にすることができた。今後臨床応用にあたってはなお

## 関節鏡11巻1号

解決しなければならないいくつかの問題点がある。

### 1) アームの小型化

ロータリー・エンコーダーは重くはないがやや大きい。小さくすると精度が落ちることに注意しなければならない。2軸関節は扱いにくいので、1軸関節5個からなるアームを検討している。

2) アーム架台はモータードライバー架台を改造して使用しているが、手術台に固定できて、しかもブレのおきないものにする必要がある。

### 3) 膝の固定

Leg holder を用いるとして、ブレないように固定する必要がある。あるいはもう1つのセンサーを用いて、常に膝の位置を calibrate する必要があるかもしれない。

### 4) 基準点

脛骨関節面の位置と大きさをあらわす、ポイントしやすい基準点を定める必要がある。さらに脛骨関節面を相似形として扱えるかという問題がある。

この点について、系統解剖屍体を用いて検索を試みた。24体の、主として右膝を、半月板をとり除いて真上から写真を撮り (Fig. 6), 脛骨関節面の輪郭をトレースした。Fig. 7は数例を重ね合わせたものであり、種々の大きさの膝がある。これを、横径が一定になるように伸縮してコンピューターグラフィックにより重ね合わせると (Fig. 8), 内側顆の矢状径には最大1cm程度のバラツキがある。したがって、脛骨関節面のモデルを1つ作って、相似形として間に合わせることは無理である。2方向X線写真で横径と矢状径の比を出し、矢状径を伸縮するような形でモデルを作成していく必要がある。

## 結 語

関節鏡視像から肉眼視と同等な量的関係を得る方法の1つとして、関節鏡視下描画装置を試作し、臨床応用のための基礎を作り得た。

系統解剖標本検索にご便宜をいただいた帝京大学医学部第二解剖学教室阪田隆教授、および教室員の方々に深謝します。

本研究は文部省科学研究費の助成を受けた。  
(研究課題番号 59570648)

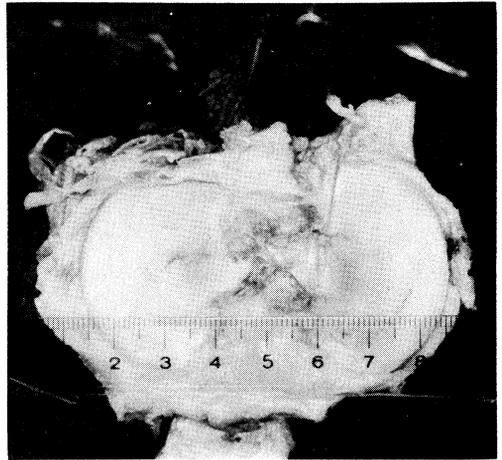


Fig. 6

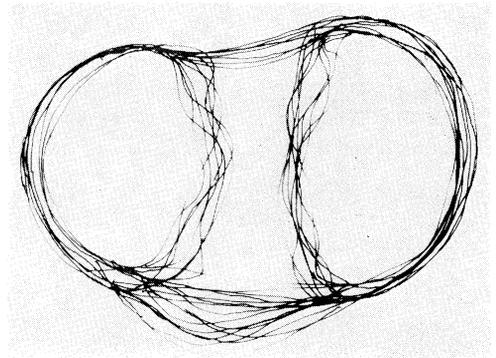


Fig. 7

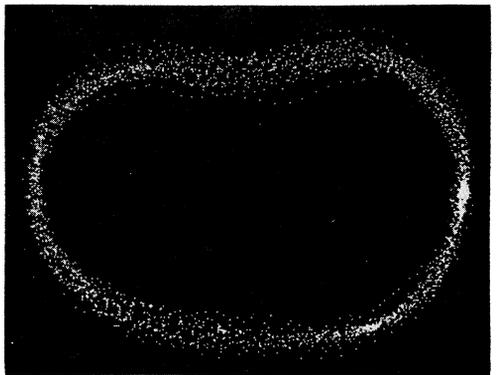


Fig. 8

## 参考文献

- 1) Prescott, R. : Optical principles of endoscopy, J. med. Primatol., 5 : 133-147, 1976.

2) 榑原 壤, 西 周助, 阿部光俊: 各種関節鏡における鏡視像の変形について, 関節鏡, 7: 97-106, 1982.

3) Watanabe, M., Takeda, S., Ikeuchi, H.: Atlas of Arthroscopy, 2nd ed., Igaku Shoin, Tokyo, 1969.

**Correction of Arthroscopic Image Optical Deformation —Development of Arthroscopic Tracer System—**— by Jo Sakakibara, M. D., Yung-Cheng Chen, M. D., Kimio Kikuchi, M. D., Hiromitsu Tanaka, M. D., Kazuhiro Wakayama, M. D., Masaki Watanabe, M. D., Akio Tateishi, M. D., *Department of Orthopedic Surgery, Teikyo University, School of Medicine, Tokyo.* Jun Sakakibara, *Faculty of Science and Technology, Keio University, Tokyo.*

Arthroscopic surgery has made great advances in the last decade, but technically is still difficult with one cause being optical deformation of arthroscopic images. We attempted to correct the optical deformation and produce real images on a computer display.

We developed the “Arthroscopic Tracer System” by which we could graph on the computer display the locus of the tip of probe inserted into the knee joint model at real time.

The device for this system consists of 1) a sensor arm, 2) a pulse counter and 3) a personal computer and display.

The sensor arm is a type of three-dimensional digitizer with a probe and five photorotary encoders. It has a resolving power of one millimeter. We made a program to trace figure of structures on the tibial plateau under arthroscopic control.

A few problems in the clinical application of this system were also discussed.

## 討 論

**井上和彦**(質問): 実際に関節鏡でプローブに何か器具をつけてプロービングして断裂があった場合など, 改良されるとみていて画面に断裂が入っているのがいずれはわかるようになるのですか。

**榑原 壤**(回答): プローブの先がトレースできる所であったら絵がかけるわけです。

**井手隆俊**(質問): 本装置を臨床応用するにあたり生食水等によるショートなど, 人体に対する安全性についての配慮に関して教えていただきたい。

**榑原 壤**(回答): 電流としては非常に弱電ですからその点は問題ないと思います。ただ, 実際に使う場合にはアース等気をつけなければならないと思って

います。

**吉田研二郎**(質問): アーム型のこの3次元測定機のエンコーダーが比較的1か所に集まって特異な形をしているのは何か特徴があるのか。プロービングの部分了他はエンコーダーなのにここだけリニアなスライダーになっているのは何か性能上特徴があるのか。

**榑原 壤**(回答): デザインのほうは試作ですから使いやすいようにさらに改良していかなければいけないと思います。プロービングの都合上あそこでスライドするか, あるいは基部でスライドするか, そのような平行運動が必要と思ったのであいう形にしました。



Fig.1 Sensor arm

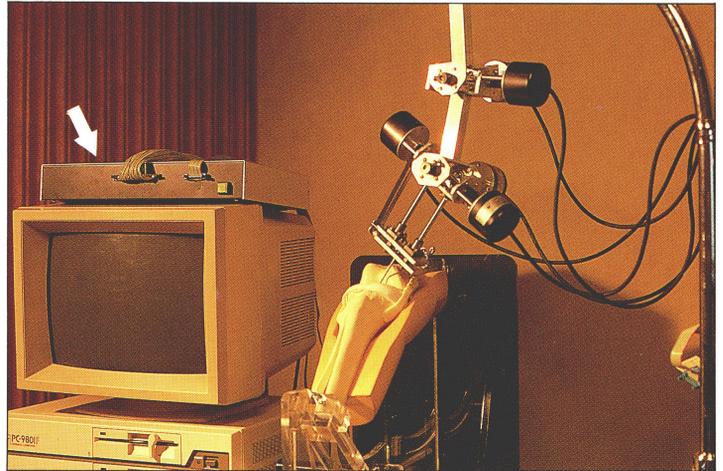


Fig.2 A set of the arthroscopic tracer system  
Arrow: an up-down pulse discriminator and a pulse counter

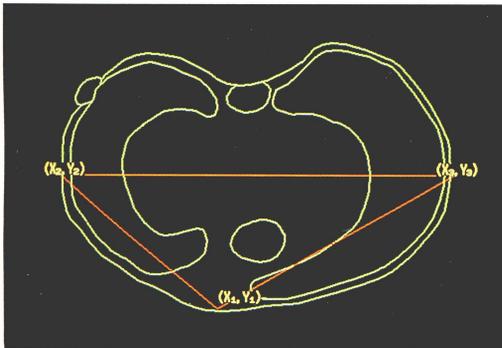


Fig.4 Determination of a plane for the tibial plateau

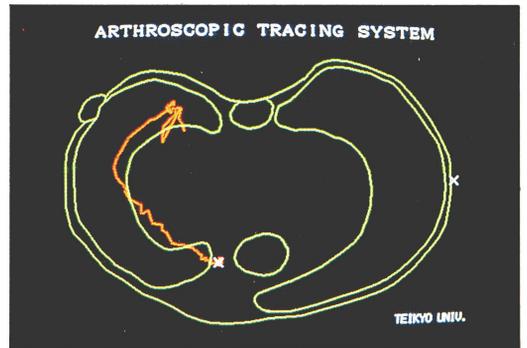


Fig.5 Tracing