

# 冠動脈シェーマに基づいた心臓カテーテル検査所見入力のための電子カルテ・インタフェース

五十嵐 悠紀    五十嵐 健夫    原口 亮    中沢 一雄\*

**概要.** 近年のハードウェア性能の向上やユーザインタフェースの改善により、電子カルテは比較的使い易いものとなってきた。しかし、電子カルテのさらなる普及を目指すためには、電子化のメリットを活かし、コンピュータがユーザの意思をくみ取り、操作を支援するようなインタフェースの改善が必要と考えられる。そこで我々は、手書きスケッチに基づくモデリング技術を用いて、心臓カテーテル検査のための効率的所見入力を可能にする電子カルテ・インタフェースの開発を行った。本システムでは、冠動脈シェーマのテンプレートに対して狭窄の部位や程度を簡便に入力することができる。また、データの構造化や他システムとの連携を図るために、データの自動構造化アルゴリズムを作成し、XMLによるデータ出力機能を実装した。さらに、冠動脈シェーマから、AHA基準に基づく分節番号ごとの表が自動的に出力可能である。効率的でわかりやすい所見入力ということだけでなく、患者への病態や治療計画などの効果的な説明ツールとしての応用が考えられる。

## 1 はじめに

従来、入力負荷が高いなどの批判があった電子カルテ [1] も、ハードウェア性能の向上やユーザインタフェースの改善により、比較的使い易いものになってきた。これまで我々は紙カルテの自由度の高さを継承した電子カルテを実現するため、ペン入力インタフェースを用いた手書き電子カルテシステムの開発を行ってきた。ペン入力インタフェースではシェーマ (医師がカルテを記すときに利用する、身体部分の絵図) を書き込んだり貼り付けたりすることが簡便にできる。このようなシェーマを中心とした電子カルテ・インタフェースの考え方は、眼科や耳鼻科、歯科口腔外科といった診療科には特に有効なものである。実際、このような診療科領域において、従来型の電子カルテの導入が困難であるという問題点が指摘されている [2]。心臓カテーテル検査および治療においても、その所見や治療計画などについてシェーマを活用しながらカルテに記載することが有効である。現状の電子カルテでは、構造化した表を埋めていくテンプレート形式のものが主流であり、所見や治療計画を記載するには必ずしも十分ではない。またシェーマの作成および利用に関しても、通常のペイント系のツールではジオメトリ等の編集が困難で、画像データとして処理されるためデータ量が増加するという欠点も挙げられる。

そこで我々は、手書きスケッチに基づくモデリング技術を用いて、心臓カテーテル検査のための効率

的所見入力を可能にする電子カルテ・インタフェースの開発を行った [3]。また、データの構造化や他システムとの連携を図るために、データの自動構造化アルゴリズムを考案し、XMLによるデータ出力機能を実装した。これにより、電子カルテシステムのシェーマ記載における問題点を克服できる可能性を示す。

## 2 インタフェースの基本機能

図1に示したように人間の心臓はさまざまな動脈静脈から成っているが、我々は冠動脈 (このイラストの赤い血管) をターゲットとし、冠動脈造影所見の記載およびカテーテル治療計画を図的に記入するためのインタフェースを開発した。開発システムを使用した冠動脈シェーマの記載例を図2に示す。操作は、主にマウスやペンタブレットによる操作によって行われ、紙の上にペンで図を描くような感覚での操作が可能である。表示される血管名称の分類や所見の記載は、広く用いられているAHA (American Heart Association) の Committee Report に基づく記載方法 [4] に準じた形で行うことができる。

システムを起動すると、まずデフォルトの冠動脈のシェーマが表示される。ユーザはこの上に所見や治療計画について記述していく。デフォルトの冠動脈シェーマを個々の患者の冠動脈形状に対応させるために、血管のジオメトリ編集機能を提供する (図3)。具体的には、新しい血管を描き加えたり、既存の血管を削除したり、形状を変化させたりすることができる。血管が追加されたり削除されたりした場合には接続部の血管の形状は自動的に補正される。血管の形状を変更する場合には、ツールパレットか

Copyright is held by the author(s).

\* Yuki Igarashi, 東京大学 (現 筑波大学), Takeo Igarashi, 東京大学, Ryo Haraguchi and Kazuo Nakazawa, 国立循環器病研究センター研究所

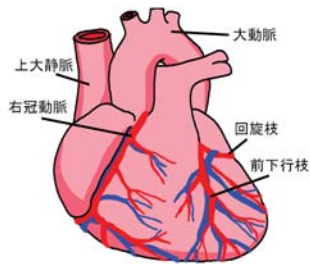


図 1. 人間の心臓のイラスト. 本システムでは冠動脈 (赤い血管) をターゲットとする.

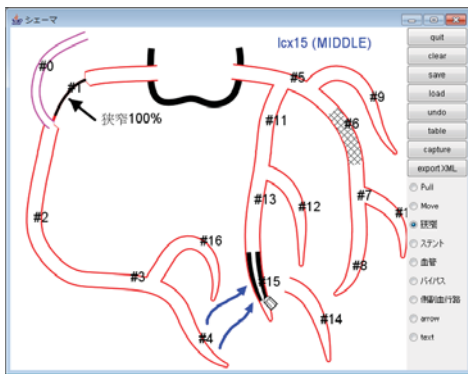


図 2. 冠動脈シェーマの記載例

ら変形ツールを選択した後、左ボタンドラッグで既存の血管をひっぱり変形する。この操作は、細かい形状特徴を保持しながら全体の形状を変形するという特殊な形状変形アルゴリズム [5] を利用している。

狭窄を描くには狭窄ツールを選択したあと、対象とする血管上で左ボタンドラッグすることで記入する。ドラッグ操作が終わった後、すぐに簡単なダイアログが表示され、狭窄の種類や狭窄率など必要な情報の設定が行われる。既存の狭窄のプロパティを変更する場合には、マウスの右ボタンでプロパティを選ぶことで、同様のダイアログが表示される。表示される狭窄の形状は、狭窄率によって適切に変化する。狭窄が 100% に設定された場合には、完全に血流が止まった状態であるので、血流がそこから先には届かないことを示すため、そこから先の血管は幅をもたない線として表示される (図 4(a))。このとき、どの部位が狭窄であったかわかるように狭窄だった部分は黒く描かれる。枝分かれなどがある場

合にも、下流に位置する血管は自動的に検出されて適切に処理される。

狭窄によって血液が流れなくなった血管に対して血液が順調に流れている血管からバイパスをつなぐと、血管の表示が復帰する (図 4(b,c))。狭窄に対する処置としてステントの記載もできる。ステント処置などによって狭窄率が 100% で無くなった場合には、下流の血管の表示も線表示から通常表示に戻される。

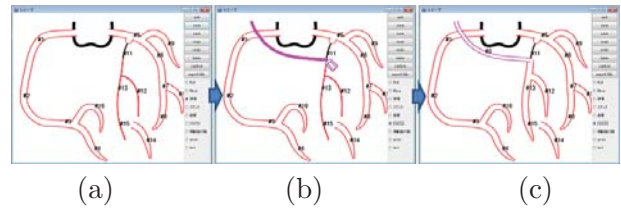


図 4. バイパスによる完全閉塞復帰の例. (a) 狭窄率 100% のとき, (b) バイパスをつなぐと, (c) 血管が復帰する.

### 3 データの構造化

冠動脈狭窄病変には coronary angiography (CAG) による評価が用いられており、CAG 評価は冠動脈の形態や狭窄率を知るうえで重要である。そこで、冠動脈シェーマに入力されたデータを、冠動脈シェーマのジオメトリからコンピュータが自動的に判断して、AHA 基準に基づく冠動脈の分節番号ごとに自動的に構造化するアルゴリズムを作成した。アルゴリズムの詳細は次章で述べる。また、構造化されたデータは XML 形式によって出力される。この XML ファイルを用いることで自動的に表を作成することが可能となる。開発システムの冠動脈シェーマに狭窄を記入した例を図 5(a) に示す。このデータを元に自動的に出力された XML ファイルが図 5(b) である。システムにより出力された XML ファイルは CAG 評価を表示するシステムに対応した XML 形式となっているため、これを入力することにより、開発システムで冠動脈シェーマに記入したデータに対応する CAG 評価の表を自動で作成することが可能となる (図 5(c))。

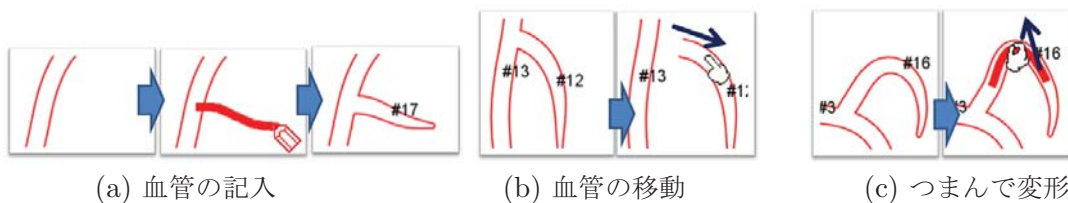
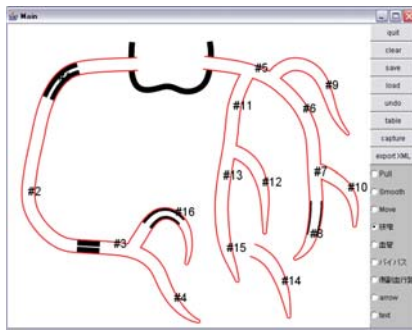


図 3. 血管に対する編集操作



(a)

```

<?xml version="1.0" encoding="Shift_JIS" ?>
<!-- cca1 -->
<cca1>
  <prepcio>75</prepcio>
  <irregular>0</irregular>
  <diffuse>1</diffuse>
  <segmental>0</segmental>
  <undefined>0</undefined>
  <washdelay>0</washdelay>
</cca1>

```



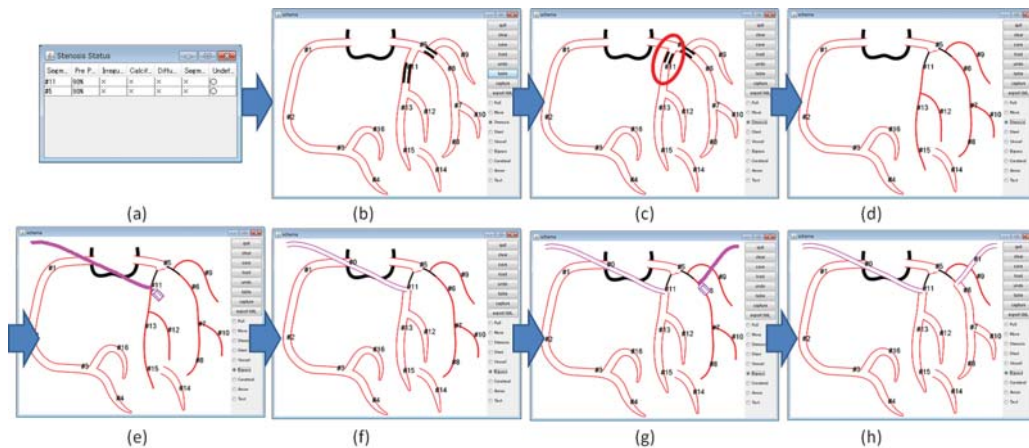


図 6. 冠動脈バイパス手術の症例に基づいた記載例. 文献 [6] の症例 3.

するような様子を本システムを用いて示すことができる。

## 6 考察

開発したインタフェースは、電子カルテのさらなる普及を目指すことを目的としたものであった。そのために、現状のシェーマ記載に関する電子カルテの問題点に着目した上で、電子化のメリットをさらに活かし、コンピュータがユーザの意思をくみ取り操作を支援するようなインタフェースを開発した。現状では試作レベルであり、実際に臨床現場で運用した上での評価は行っていないが、開発システムに対して専門家から以下のような意見が得られた。

1. シェーマを患者個人のジオメトリに適応させることが容易。
2. シェーマはビットマップデータではなくベクトルデータで保存するため、データ量が大幅に少なくでき、システムからのデータベースへの問い合わせ時におけるレスポンスの低下も引き起こしにくい。
3. XML を用いることで、カルテに記載した内容を AHA 分類に沿った表形式で出力することが可能であり、また他システムとの連携も容易。
4. シェーマを描きながら同じディスプレイ上で検査画像を参照することができるため、効率的な記載が可能となる。
5. AHA 基準では現状にそぐわない症例も多数存在する。したがって AHA 基準で対応できない症例や、さらなる例外処理に対する工夫が必要。

また、別の心臓外科医からのコメントでは、“わかりやすいシステムであり、経験の少ない医師には特に有効ではないか”といった意見も得られた。“診断は心臓内科医が行うが、若い外科医のトレーニング

にも役立つと思う”とのことであった。外科は手術をイメージするのに解剖との対応、造影画像と比較が重要になるため、AHA の基準があっても、エキスパートでさえ診断の個人差が大きく、CAG 評価表だけではよくわからないことが多いそうである。よって、“各回旋枝をターゲットにした何枚か(4~6枚)の造影画像と対応できるイメージがあるとうれしい”、“診断の記載をするのが目的のシステムであれば2次元でわかり易いが、トレーニングのためであれば3次元のイメージも欲しい”といったご意見をいただいた。

本システムを利用することで冠動脈シェーマのテンプレートに対して狭窄の部位や程度を簡便に入力することができる。また、従来の紙面上でのカルテ記載では実現できなかったバイパス手術後の血管回復なども視覚化することが可能となった。これらにより、シェーマ記載に関する問題点に対して、電子カルテによる解決の可能性を示すことができたと考ええる。一方で、心臓カテーテル検査におけるカルテ記載は入力者ごと施設ごとに多様である。また今回参照した AHA の Committee Report における基準自体も作成から 30 年以上が経過し、これまでの基準では分類しきれない症例の存在や基準自体の曖昧さから、改訂の必要性に迫られている。本システムはシェーマを基本としたインタフェースを用いており、図記入と文字注釈を活用することができる。そのため、現時点で想定していない冠動脈奇形などの症例などが将来的に発生しても、少なくともシステムの制約から入力できないという事態は避けることができる。しかし、入力データの構造化という観点からは AHA の基準を外れることはできない。従って、本システムの課題として、新しいレポート作成基準や症例に対するさらなる柔軟性が考えられる。

開発したインタフェースは心臓カテーテル検査における所見入力だけでなく、耳鼻科、眼科、口腔外

科などのシェーマを必要とする診療科にも応用が可能である。また、効率的でわかりやすい所見入力ということだけでなく、患者への病態や治療計画などの効果的な説明ツールとしての応用が考えられる。今後臨床現場での運用を行い、現場からのフィードバックを基にシステムの問題点を抽出し改善を図る予定である。

## 7 現場で使える UI を目指して

本研究の目的は実際に現場の医師にとって役に立つこと、現場で使いやすいユーザインタフェースを実現することである。本システムは現場の医師が実際に使うことを想定して開発を行ってきたが、適宜開発途中に実際に専門医にインタビューを行い、そのフィードバックをシステムに反映させながら開発を進めてきた。

特に医師がカルテを記載するためにかける時間は非常に短時間であり、個々の操作、入力に対してこれを考慮したインタフェースでないと実際に使用してもらうのは不可能だということが前提にある。また、疾患には多くの症例があるが“記載できない事項”があるのは論外である。さらに、コンピュータは身近なものへと発展してきたが、医師がコンピュータを使いこなせるとは限らない。このようなことから、コンピュータの初心者でも、短時間に簡便に意図した記載をできるように、技術的な工夫を行った。以下、個別事例をいくつか取り上げて、実際の専門家とのコラボレーションがどのように行われ、現場のフィードバックが反映されているかについて述べる。

### 7.1 個人差への対応

「冠動脈であっても個人差が大きいので、できるだけ患者の個人差／個体差に対応する必要がある」との専門医のコメントより、カルテの記載だけでなく冠動脈のジオメトリの変形も容易に行うことのできるようなシステムにした。通常、紙カルテの場合には医師がスケッチで描いて病変を記入したり、その部位をかたどったハンコを押してから病変を書き込んだりする。本システムではデフォルトの冠動脈はあるものの患者の個人差に合わせてジオメトリを変形した後、狭窄等の病変を記入していけるようにした。また、冠動脈の変形にはコンピュータ初心者でも直観的にわかりやすい“つまんでひっぱるインタフェース”を利用した。

血管の形状も個人差が大きく、血管の本数が異なる人もいるそうである。患者にあわせて新たな血管を追加することも簡単に行えるよう、スケッチを描くだけで血管の追記ができるようにした。このため、血管自体の描画および既存血管との接続部の描画が適切に行えるよう、描画アルゴリズムを工夫した。新たに血管を描いた際には手書きストロークなのであらかじめ適度にスムージングを施しておくことで、

入力時のゆれ、がたつきを軽減した。

### 7.2 狭窄の記載

当初、狭窄の記載は紙カルテに記載する際と同様に、血管の内側に描き、描いたら終わりとしていた。しかし、専門家から「記入して終わりではなく、狭窄の病変、詰まり具合（パーセンテージ）の変更もあるし、狭窄自体の位置が動くこともある。」との意見を聞き、電子化の強みを活かして狭窄を記入した後から編集できるように、狭窄を右クリックすると再びポップアップが開き再設定できるようなインタフェースとした。また、あとから狭窄が移動した場合には別の箇所書き直すのではなく、狭窄をドラッグできるように、血管にスナップしながら血管内部に沿って適切に動かすことができるような実装とした。

また、狭窄は詰まり具合がどの程度であるかをパーセンテージで表す。これを当初は0～100%の実数値として、インタフェースはスライダーバーおよびテキストボックスで数値を入力できるようにしていた。しかし、専門家には「実際の診断ではわざわざテキストなどで入力したりスライダーバーを調整したりする時間はない」と助言された。インタビューを進めていくうちによく使われているのは25%、50%、75%、90%、99%、100%の6段階に加えて、狭窄が起きていたのに自然に消滅した際を示す0%を加えた7段階を主に使用していることがわかった。よって、この7段階の数値を用いてラジオボタンのインタフェースとした。

狭窄のプロパティを設定するポップアップは当初ダブルクリックとしていたが、ペンタブレットでのダブルクリックは非常に困難であることがわかった。このため、システム全体の操作すべてダブルクリックは排除し、シングルクリック（ペンタブレットの場合はバレルボタン）のみで操作できるようにインタフェースとした。また、新規に狭窄を記載した際には必ずプロパティボックスを開いて種類や狭窄率を記入するため、この際の負荷を軽減および記載忘れを防ぐため、新規に狭窄を描いた直後には自動的にプロパティボックスが開くこととした。

### 7.3 バイパスの接続

「バイパスの接続を行うと復帰するのは非常に面白い」との専門医からのコメントがあったが、「バイパス接続は冠動脈同士をつなぐとは限らない」とのことであった。当初は“冠動脈の生きた血管から狭窄で閉じてしまっている血管へバイパスを接続すると復帰する”仕様としていたが、冠動脈以外の血管からバイパス手術をした際にもきちんと記録し、バイパス接続箇所より下部の血流が復帰するよう変更した。

また、バイパスの描画に関しては血管の上へバイパスの始点と終点に乗っている際にだけ血流が復帰

するようにしていたが、「短時間で記載する際、大雑把に描くことが多く、血管の近くで描くのをやめてしまった場合に血流が復帰しないのは困る」とのことであった。よって、血管の近くにある場合には血管上にスナップするような機構を取り入れてあり、バイパスを少し手前で描くのをやめても、一番近くの血管へスナップして血流が復帰するよう工夫した。

#### 7.4 シェーマと表との連携

紙カルテではシェーマのような図と共に CAG 評価表を用いて管理していることを教えていただいた。よって、シェーマで記載したあと、再度 CAG 評価表への記載を行うのではなく、シェーマと表との連携を簡単に行えるような機構を取り入れることを行った。本システムでシェーマを描くと表を生成、表に記入するとシェーマに反映としたシステム内に閉じた実装だけでなく、シェーマ自体に XML ファイル形式での入出力機能を実装し、すでに現場で使われている他のシステムとの連携を行えるようにした。

### 8 まとめと今後の課題

手書きスケッチに基づくモデリング技術を用いて、心臓カテーテル検査のための効率的所見入力を可能にする電子カルテ・インタフェースの開発を行った。また、データの構造化や他システムとの連携を図るために、データの自動構造化アルゴリズムを考案し、XML によるデータ出力機能を実装した。開発したインタフェースによりシェーマ記載に関する電子カルテの問題点を改善することができると考えられる。開発したインタフェースは特別なシステムを必要としないため、低コストで導入可能であり、将来の発

展性は高いと考えられる。実際に臨床現場で運用した上での評価をすると共に、それを元にさらなる改良をし、実用段階まで発展させたい。また、3次元画像による冠動脈疾患の診断が広まりつつある状況にあわせて、3次元シェーマ記載機能を実現させたい。

#### 参考文献

- [1] 松村泰志. 電子カルテの現状と課題. 最新医学 2003 ; 58(8) : 46-51.
- [2] 永田啓, 杉本喜久, 中沢一雄ら. 医療者の思考過程に即したユーザーインタフェースを実装した電子カルテシステムの考え方とその実装. 医療情報学 2005;25(Suppl.):545-6.3.
- [3] Mori, Y., Igarashi, T., Haraguchi, R. and Nakazawa, K. A Pen-based Interface for Generating Graphical Reports of Findings in Cardiac Catheterization. Methods of Information in Medicine, 2007;46(6) pp.694-699.
- [4] Austen, G. W., Eswards, J., Frye, R. L., et al. A Reporting System on Patients Evaluated for Coronary Artery Disease, Circulation, 1975; 51(4 Suppl.) : 5-40.
- [5] Igarashi, T., Moscovich, T., Hughes, J. F. As-Rigid-As-Possible Shape Manipulation. ACM Transactions on Computer Graphics 2005; 24(3) : 1134-41.
- [6] Kolessov, V. I. Mammary artery-coronary artery anastomosis as method of treatment for angina pectoris. The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery. 1967;54(4):535-44.

#### 議論ポイント

##### ・このような研究を論文にする難しさ

専門家に実際に使ってもらえるようなシステムにするため、専門家に何度もインタビューをした上で、CG/UI の研究者として技術を検討・開発することを行ったが、開発にはなっても技術論文として完成させるのは難しいと感じている。一方、近年では完全に技術ありきの論文は少なくなってきたいて、CHI などでもシステム論文やケーススタディ論文などが増えてきている。このようなスタイルの研究はどのように論文として仕上げていったら良いか議論したい。

##### ・実際に実用化する難しさ

これだけ電子化された世の中になっても、未だに紙ベースのカルテを利用する病院が多いことからわかるように、現場で長年使われてきた紙

カルテの代わりにこのようなシステムを導入するのは難しい。医学系のシンポジウムや学会などで発表をした際には、「大変便利だ！これはすごいシステムだ！」と口ぐちに言われたが、それほどまりである。低コストで導入可能であり、将来の発展性は高いと考えられるが、実際に実用化されるにはまだまだ克服すべき課題があると考えられるので議論したい。

##### ・異分野の共同の難しさ

医師は入力が楽で便利なものが欲しい、事務方はきちんと整理されたカルテが欲しい、医学系研究者(評価データを用いて研究する人)はデータが欲しい、工学系研究者は技術的に新しいことがやりたい、などその立場によって違うことから、異分野の共同は難しい。お互いの立場を尊重しつつ、異分野間で共同研究をしていく場合について議論したい。