

インターネットテレビ会議における医用画像の色補正新技術の開発

代表研究者 赤 澤 宏 平 新潟大学医学部附属病院医療情報部教授

共同研究者 村 瀬 澄 夫 信州大学医学部附属病院教授

” 山 崎 敏 明 キッセイコムテック(株)ソフメディア技術研究所マネージャー

1. 研究目的

最適な治療を行うために、一般の医療機関の医師たちは大学や専門病院の専門医にコンサルテーションを依頼する。従来のコンサルテーションでは、患者様の放射線画像、内視鏡などの写真、病理標本、ビデオ、検査結果、病歴サマリーなどを専門医に一括郵送し、専門医から依頼医師への返答も電話や郵便で行われてきた。ネットワーク技術が発達した今日、医療機関どうしのコンサルテーションは、インターネットカンファレンスシステムで実現できるようになった。カンファレンスで利用される医用画像を、インターネットを介して受け渡しする際に、色の再現性が臨床上最も問題となる。皮膚疾患の患部写真、内視鏡検査における粘膜画像、病理組織診断に用いられる標本画像など、送信されてくる画像の色が診断に大きな影響を与えることがこれまでの実用化実験で問題となった。

そこで、本研究では、インターネットで送られてくる画像の色が元の写真や標本の色を忠実に再現するようにするための色補正技術を検討しその臨床的有用性を評価する。この色補正技術の検討により、インターネットによるリアルタイムなコンサルテーションにおいて、診断精度が向上し治療方法の選択がよりの確に行われると期待される。

2. 研究の背景

2-1. 用語の解説^[1]

(1) 光

光は、電波などと同様に電磁波の一種である。光の中でも特に目に見える光のことを可視光と呼び、その他の光と区別している。可視光は波長が 380nm ~ 780nm の非常に狭い範囲に収まっている。この範囲の可視光を全て光らせると、太陽光のような白色となる。人間の目に赤色の物体が見えるという現象は、物体が赤以外の光が吸収し赤い光のみを反射するので、赤く見えるのである。

(2) 目

目に入ってきた光は、角膜、水晶体を通り網膜の上に焦点を結ぶ。網膜上には桿状体細胞と呼ばれる細胞が密集している。この細胞がある大きさ以上の光エネルギーを受け取ると、その情報を脳に送り、脳で処理された情報を人間は物の大きさや形として知覚する。しかしながら、桿状体細胞は色を感じることはできない。色の情報処理は網膜上に分布する錐状体細胞で行われる。片眼の網膜上には桿状体細胞が約 1 億個、錐状体細胞は約 700 万個存在する。そのため、人間の目は光に対する感度に比べて、色に対する感度の方が鈍くなっている。

(3) 表色

目に見えた色を曖昧な形容詞ではなく、定量的に表すことを表色という。人間は光が目に入ってくることでそれを色として知覚する。このような光を色刺激と呼ぶ。

1931年、CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) によって色を測定する際の光源、観察条件、色を数値化する方法論が定められた。同時に、人間の可視光の周波数範囲内での目の感度を実験的に求め、それを基に標準観察者という概念を導入した。標準観察者が規定されたことにより、色刺激を定量的に表すにはX、Y、Zの三種類の色光の混合量である三刺激値を用いることで可能になった。

(4) キャリブレーション

ディスプレイが常に安定した色を再現するためには、カラーキャリブレーション（色校正）を行わなければならない。キャリブレーションとは、経年変化等の内的要因やビデオカードの変更などの外的要因によって色再現に対し影響を受けることなく、常に正しく再現できるように機器を調整することを言う。使用するメディアや、システムに合わせた調整や、CRT の経年変化に対する補正などが主となる。そのためカラーマネージメントシステムを考慮する際、ディスプレイには欠くことの出来ない非常に重要な機能である。

ソフトウェアキャリブレーション

ディスプレイの色調整をコンピュータ内部のビデオカードを使用して調整する方法をソフトウェアキャリブレーションと呼ぶ。測色計で測定したデータをシリアル回線を使用しコンピュータに入力してビデオカードの RGB 出力のレベル比を調整し色を作る。ディスプレイには全く変更を加えないため、どんなディスプレイに対しても利用することが出来ると言う利点を持つ。この方法ではベースになるディスプレイの設定色温度での輝度を最大として色調整をすると、すべて輝度が下がると言った弊害がある。また、ビデオカード上で色を作るために何ビットかを使用してしまいうので、実際にカラーワークを行う場合に使用できる色の階調が減ってしまう（階調全てを使用することができない）という弊害もある。

ハードウェアキャリブレーション

ディスプレイの内部のアナログ回路を調整して色調整する方法を、ハードウェアキャリブレーションと呼ぶ。測色計で測定したデータをシリアル回線を通し、ディスプレイ内部の CPU と通信を行う。CPU は受け取ったデータと予め設定されている値とを比較、演算することでアナログ回路の設定を変更し、色調整を行う。このような方法を用いることで、ビデオカードの RGB 出力のバラツキまでも吸収できる。そのため、ソフトウェアキャリブレーションのように輝度を犠牲にしてしまうこともなく、ビデオ回路のダイナミックレンジをフルに活用することができる。

(5) 測色計

キャリブレーションに使用する測色計には、基本的に以下の 3 つのタイプがある。

輝度センサ

輝度センサは光りの明るさだけを測定する。輝度センサでは、ディスプレイを 5000K にセットしておき、その時の RGB の輝度の比率をキャリブレーションソフトに登録する。そしてキャリブレーションする際には、RGB を順次発光させあらかじめ登録しておいた値に各々を調整する。

RGB センサ

RGB センサは、フィルタを使用して光を RGB の 3 色に分離し、それぞれの明るさを測る。RGB センサでは、3 色を同時に測ることができるが、RGB の輝度を事前に登録しておいた値に調整するといった考え方は輝度センサの場合と同様である。

色度センサ

色度センサは人間の目と同様な色感度特性を持つセンサを使用し、人間が色を感じるための 3 つの刺激値（XYZ）を測るセンサである。色度センサでは、XYZ の値が測れるため色度の測定が可能となる。輝度が変わっても正確なホワイトポイント（色温度）の測定ができるため、正確な色調整ができることになる。更には、条件の異なる複数台のディスプレイの色を合わせると言うようなことも可能である。Prefer Vision では色度センサを使用することにより、遠隔地とのデータ通信によるデータの共有化や、システム間でのデータの受け渡しなど、オープンな環境を実現している。

(6) キャラクタライズ

常に安定した色を再現できたとしても、ディスプレイには個体差という問題が残る。その個体差を吸収するために行われるのがキャラクタライゼーションである。中でも特にガンマ補正は重要で、階調表現に大きな影響を与える。又、CRT の蛍光体なども正確な色表現に大きな関連がある。個体差などを含め、これらの情報をファイルとして記録した物が ICC プロファイルと呼ばれている。そのため、予め正確にカラーキャリブレーションが行われていないと、たとえキャラクタライズを行ったとしても、色の一貫性を管理することが出来ない。

(7) ガンマ特性・ガンマ補正

ディスプレイ（CRT）にはガンマ特性というものがある。ディスプレイは入力する信号のレベルと蛍光体の

発光量が比例せずにある特性を持っている。これは、CRT の電子銃に与える電圧と、放出される電子の量との関係によって起こる現象である。当然メディア間でガンマの整合が取れていないとそれぞれの色味が変わってしまい、正確な色再現が出来なくなってしまう。そこで、ディスプレイ側ではガンマの整合を取るためにガンマ補正を行う。一般的に、印刷物のイメージをディスプレイで表示する場合にはガンマ特性値1.8を、写真や CG 等ディスプレイ上で完結するイメージを見る場合には、ガンマ特性値2.2を使用する。例えば、ディスプレイ画面上で印刷物を表示する場合を考えると、ターゲットとなるガンマ特性値は1.8となる。ここでディスプレイの持つガンマ特性値を2.2とすると、ビデオカード上では $1.8/2.2=0.818$ という補正をかける事によってモニタのディスプレイ特性値を1.8に補正することができる。このようにガンマ補正を行う事によって、ディスプレイ上に印刷物をより近いイメージで再現する事ができる。つまり、ガンマ補正とは画像表示機器と他のメディアやデバイス間で、色環境の1部を共通化するという役割があり色再現に必要な不可欠なプロセスだと言える。

2-2. 既知の色補正技術

共同研究者の山崎^[2,3]は、色補正に関して以下の研究報告を行った。

(1) 撮像系光源の分光分布と画像入力機器特性の推定

コンピュータによる CRT 上の色再現システムは、撮像系の光源を自然光に近い標準光源と仮定している場合が多い。しかし、撮像系の光源として標準光源が使用されることはまれである。そこで、撮像系の光源を一般に使用されている三波長域発光形蛍光灯と仮定する。そして、あらかじめ分光反射率がわかっている色票と、入力機器を用いてコンピュータに取り込んだ色票の値の相関関係から撮像系光源の分光分布を推定し、撮像系光源下での色表の見えを再現する手法を提案する。この手法によって推定された撮像系光源下での色票の値が測定値とよく一致する結果を得た。

(2) 色再現のための色変換手法の評価

コンピュータに入力したデジタル画像の色を、被写体と共に写し込んだ色票の色変調から補正するためには、色票本来の色からデジタル画像の中の色票の色への変換を求める必要がある。この変換を求めるための手法として、多項式近似による手法や階層型ニューラルネットワークを用いた手法が試みられている。これらの色変換手法の中で、現在研究開発中の高品位テレビ会議システムの色再現サブシステムにおいて、最も色補正能力が高い手法を調べた結果、中間層ユニット数が80、学習終了条件が2.0%の階層型ニューラルネットワークによる手法が、変換後の色差が最も小さいことがわかった。

出力機器上で正確な色を再現する色は、被写体の分光情報をもとに、出力機器の三原色の特性から計算で求めた。この値は理論上の値であり、この値をその出力機器で入力した場合に、人間の目に被写体と同じ色に見えるという保証はない。それは、色は人間の感じる心理物理量であると同時に、人間の知覚特性が出力機器の置かれている環境に応じて変化する性質があるためである。このため、出力機器が数値的に被写体の正しい色を出力していても、人間には異なった色に見える場合がある。特に、現在開発中の高品位テレビ会議システムがターゲットとしている医療分野では、微妙な肌色の再現性が大きな問題になるだけに、この影響は無視できないと考える。

3. 研究方法ならびに結果

3-1. 色補正画像の主観評価実験

実験：

有彩色6色、肌色4色、無彩色5パターンの色紙を用意しビットマップ画像としてコンピューター上に取り込んだ。4つの光源（室内《昼白色蛍光灯》、D55、D65、C）を想定した色票情報を元に各色に対してそれぞれ4パターンの色補正を行った。被験者12人は、ディスプレイ横にある色紙とそれを色補正した4パターンの色補正画像をディスプレイ上に描画したものとを比較し、オリジナルの色紙と色が似ていると感じた順に4パターンの画像に順位をつけた。

さらに、人物の上半身の画像（背景あり）と顔のみ（背景は最小限）の画像を用意し、先ほどの4つの条件でそれぞれ色補正を行った。被験者はそれぞれの画像に関して、一番自然な色をしていると思われる順に順位をつけた。

この実験は全て室内（昼白色蛍光灯下）で行われた。

結果：

被験者がつけた順位の中で、最高評価したもの（一番元の色と近いと答えたもの）と最低評価したもの（一番元の色と異なると答えたもの）に関してグラフを作成した（添付資料を参照）。その結果、有彩色・肌色に関しては蛍光灯を光源として設定した被験者それぞれ58%、87%と一番多かった。最低評価した被験者が多かったのは、D65、C を光源として設定した色補正画像であった。しかし、無彩色に関しては、D65 を光源として色補正したものを最高評価した人が50%と一番多く、蛍光灯を光源として色補正した画像を最低評価した人が70%であった。

人物の画像に関しては、D55 を光源としたものを最高評価した（一番自然であると答えた）人が最も多く、一方、蛍光灯を光源として色補正を行った画像は最低評価（一番不自然であると答えた）が最も多かった。しかし、蛍光灯を光源として色補正をした結果を最低評価にした被験者は、上半身（背景あり）の画像では67%であるのに対し、顔のみ（背景は最小限）の画像では33%と半減していた。

考察：

蛍光灯を光源と設定して色補正した画像が蛍光灯の下に置かれた色紙の色と数値的に一番近い。しかし、白や灰色といった無彩色に関しては、蛍光灯を光源として色補正した画像を最低評価した人が最も多かった。一方、最高評価が最も多かった光源は D65 である。D65 は蛍光灯に比べると青っぽい光である。

ディスプレイ上で何も描画していない白い部分を分光測色計で測定すると、「正確な白」と比較して青みがかった色であることがわかる。しかし、人間は、ホワイトバランスの機能による色順応のため、この色を白であると認識している。そのため、白や灰色といった無彩色に関しては、正確な色（蛍光灯を光源として色補正した色）よりも青っぽい色に補正された D65 を光源としたものを「一番近い色」と認識してしまったと思われる。D65 は4種類の光源の中では最もディスプレイの白に近い光源である。一方、赤や黄色のような有彩色を正確に認識していることは、有彩色では色順応の機能が働きにくいことを表している。

人物の上半身の画像と顔のみの画像の結果が異なるのは、上半身の画像には背景の壁の色やワイシャツの白といった無彩色の占める割合が多く、顔のみの画像では無彩色が占める割合が少ない。そのため、上半身の画像を見たときは「ディスプレイ上の白」への色順応の影響が大きく、顔のみの画像では影響が小さかったために異なる結果が生じたのではないかと考えられる。

3-2. MPEG4 を用いた遠隔教育コンテンツにおける画質の評価実験

はじめに

近年、インターネットによる映像配信技術は急速に進歩してきた^[4]。様々な動画配信ソフトウェアが開発され、医用ビデオ画像や DVD 画像の再生がパソコン上でも容易に行われるようになった^[5,6]。動画再生でこれまで問題となっていたコマ落ちや音声の遅滞は、パソコン自体のハードウェアの性能向上や、ソフトウェアの発達によって改善されつつある。このような動画画像の圧縮の規格として MPEG 規格がある^[7]。これは、ISO（国際標準化機構）と IEC（国際電気標準会議）で標準化された圧縮符号規格で、主に利用されているものは、MPEG1、MPEG2、MPEG4である。MPEG1 は、ISO/IEC での定義によれば、解像度 360画素×240、フレーム数30、データ転送速度が 1.15Mbps、圧縮率が 1/40 が、MPEG1 の入力信号の一般的な信号形式であり、通常のテレビ受信やビデオ再生程度の画質であり、医療の領域では心エコーでも利用されている。MPEG2 は、720画素×480ラインでの画質の補正も可能である。医療の領域では、リハビリテーションや外科手術の記録など、動きの再現性と画像の高精細を要する分野を中心に応用されている。しかしながら、情報量の大きい画像ファイルなどでは伝送速度は 1Mbps から100Mbps と、伝送速度の遅滞やインフラの整備などの問題もある。

最も新しい MPEG4 は、マルチメディア対応の汎用符号化方式として、1998年頃から台頭してきた動画画像規格であり、既に携帯電話での動画画像受信でも使われている。画像の圧縮率を上げ、伝送速度を短縮したことが主な特徴である。しかしながら、ネットワークのアクセス性を優先した結果、より高圧縮に符号化された画像は、本来の画像に比べて輪郭や表示が曖昧になり、詳細な識別がしづらくなる等の画像劣化をきたす可能性も考えられる。MPEG4 で作成された医療用動画画像の臨床的評価は、ほとんど定まっていない。

そこで、院内コンピューターネットワーク上での配信と運用を目的に、デジタル画像の符号化による画像圧縮と配信において、MPEG4 の適用を検討した。

方法

(1) ハードウェアとソフトウェア

MPEG4 エンコーダー及び PC サーバーとして、Windows NT workstation (Hitachi Flora370) (OS: Windows NT) を用意した。MPEG4 エンコードとコンテンツ作成用ソフトウェアであるVideonet 4 (HITACHI) (OS: Windows NT, Memory) を、サーバーとエンコーダーの両方の Windows NT workstation にインストールした。MPEG エンコーダーは、MPEG4 のビデオストリームをリアルタイムで生成することが可能であり、サーバーと共同してネットワーク上で配信できる。エンコーダー PC 上で MPEG4 動画のファイルを、直接配信することができる。そのままリアルタイムでの画像配信も可能であり、ライブラリー用のサーバーである Windows NT server 上に保存されて、ビデオオンデマンドでの配信も可能になる。エンコードの設定条件は、映像符号化アルゴリズム (MPEG4)、時間 (リアルタイム配信の予約設定も含む)、1 秒当たりのフレーム数 (約 15fps)、映像表示サイズの解像度 (320×324)、映像ビットレート (192Kbps)、音声符号化アルゴリズム (Layer)、音声モード、音声サンプリングレート (44.1KHz)、音声ビットレート (64KHz) など約10点がある。エンコード前のコンテンツが、VHS や DV (デジタルビデオ) で NTSC の場合、MPEG エンコーダー PC のビデオキャプチャーボードの映像端子 (黄色) と音声端子 (白色と赤色) に接続して、VTR から直接 MPEG エンコーダーに取り込む。

(2) MPEG4 動画の参照

病院内 LAN に接続したパソコン端末から、ライブラリー保存されたファイルを閲覧するには、Web ブラウザで MPEG4 画像をデコードして参照するためのソフトウェアのプラグインをインストールする必要がある。蓄積されたコンテンツやリアルタイム放映のプログラムは、インターネットエクスプローラーやネットスケープのリンク機能を使って参照できる。このビデオライブラリーのコンテンツ参照は、ファイアーウォール内の病院内端末からのみ可能である。

今回の評価実験では、学内運用のビデオライブラリーの中から所要時間を3分間に設定したサンプル用のコンテンツを4点作製した。サンプルに選択した画像の内訳は、1. 小児の救急蘇生、2. 脳疾患の救急医療、3. 病院のリスクマネジメント、4. 病因による疫学の統計、であった。サンプルコンテンツを作成する際に留意した点は、スライド静止画像中心のものと、動画が中心のもので、内容が比較的わかりやすいものを、それぞれ2点ずつ作成した。

参照の順番は、(1)オリジナルの録画ビデオ (参考画像)、(2)MPEG4 画像、(3)AVI ファイル画像である。MPEG4 画像と AVI ファイル画像は、病院内のネットワークを介してサーバから病院端末に送信しその画像を評価者に視聴してもらった。評価者数は医師4人と看護師5人の合計9人である。

(3) サンプルコンテンツの評価項目

9人の評価者は、それぞれのサンプル画像 (4サンプル×2種類画像=8画像) について以下の評価尺度に従い評価を行った。

1. 動きの滑らかさ (動画のみ): 動画上で再現される対象物の動きの円滑さ
文字の見やすさ (静止画のみ): スライドで表示される文字の見読性
2. 画像の鮮明さ: 表示される画像全体の判別のしやすさや輪郭の鮮鋭さ
3. 音声の明瞭さ: 説明内容の明瞭な聞き取り
4. オリジナルとの比較: ビデオ画面を基準とした印象

評価方法 (採点の方法) は、1. 非常に悪い、2. 悪い、3. 普通、4. 悪い、5. 非常に悪い、の5点が等間隔に目盛られた線分上に×印を記入してもらった。

統計解析

5段階に目盛られた評価線分上に評価者がつけたマークから、それぞれの評点をスコア化した。各評価項目について、評価者 (9人) ならびに画像の種類 (MPEG4, AVI ファイル) の効果を補正するために、2元配置分散分析で解析を行った。使用した統計解析ソフトウェアは BMDP2V である。

各項目の MPEG4, AVI ファイル別平均値±標準偏差を下表に示した。

動画画像を対象とした画質評価

項目	画像の種類		分散分析の結果(P-値)
	MPEG4	AVIファイル	
動きの滑らかさ	2.29±0.78	3.62±0.88	P<0.001
画像の鮮明さ	1.72±0.62	3.16±0.84	P<0.01
音声の明瞭さ	2.35±1.06	3.29±0.75	P<0.001
オリジナルとの比較	1.63±0.31	2.86±0.65	P<0.001

静止画像を対象とした画質評価

項目	画像の種類		分散分析の結果(P-値)
	MPEG4	AVIファイル	
文字の見やすさ	0.81±0.51	1.78±0.36	P<0.001
画像の鮮明さ	1.47±0.71	1.95±0.55	P<0.001
音声の明瞭さ	1.92±0.87	3.37±0.81	P<0.01
オリジナルとの比較	1.21±0.47	2.08±0.67	P<0.001

動画画像、静止画像ともに、AVI ファイルのスコアが MPEG4 のそれを上回っていた。分散分析の解析の結果、動画画像、静止画像の全項目において AVI ファイルのスコアは MPEG4 のスコアに比べて有意に高かった（上表の4列目参照）。

考 察

医療用画像で、診断・診療において主に求められる要件は、高精細さである^[9,10]。検査画像が高精細なものであれば、異常や病変などの変化がより明らかに検出されるであろうというのが、大方の見方である。これまでの遠隔医療の研究でも、X線写真や CT, MRI, 内視鏡などの検査画像を如何に効率よく伝送するかというところに重点が置かれていた。さらに、動画画像の伝送となると、情報量が飛躍的に増大し、伝送環境や圧縮ソフトの性能に負う面も顕著である。また、従来のカンファレンスや教育のあり方が、インターネットを介在させることで変容してきている^[11,12,13,14]。有用な情報を共有するために、時間や空間の制約がなくなり、個人レベルの端末の自在性が、今後も増大してゆくと思われる。

結 論

MPEG4 の医療用画像の画質を評価するために、4つの評価項目について医療従事者を対象とする主観的評価を行った。適切な統計処理を行った結果、MPEG4 は、AVI ファイルに比べて4つの項目すべてで低い評価がなされた。したがって、MPEG4 画像を医用画像に用いた遠隔コンサルテーションは慎重に行うべきである。

References

- [1] http://www.qqc.co.jp/tech_inf/default.htm
- [2] 山崎敏明．撮像系光源の分光分布と画像入力機器特性の推定．ソフトメディア技術研究所研究報告．Vol.1, pp.54-60, 1999.
- [3] 山崎敏明．色再現のための色変換手法の評価．ソフトメディア技術研究所研究報告．Vol.21, pp.31-37, 2000.
- [4] Steven W, Strode MEd, Susan Gustke, Ace Allen: Technical and Clinical Progress in Telemedicine. The Journal of the American Medical Association. 281(12): 1066-1068, 1999.
- [5] Tamm, E.P, Ernst, R, Weems, W. The Virtual lecture: Delivery of Live and Recorded Presentations over the Internet. *AJR*, 172:9-12, 1999.
- [6] Hashiba, M, Inagawa, K, Matsuto, T, Motonaga, A, Yamakawa, T, Akazawa, K. Application of the

- RealAudio Package to computerized medical lectures. *Med. Inform.*, 25: 239-245, 2000.
- [7] Comparison of MPEG digital video with super VHS tape for diagnostic echocardiographic reading. Jeffrey S. Soble et. al. *Journal of the American Society of Echocardiography* Aug. P819-825, 1998.
- [8] Recommendation 500-507; Methodology for subjective assessment of the quality of Television Pictures. ITU-R Recommendations. RBT, 1995; 307-329.
- [9] D. J. Eedy, R. Wootton: Teledermatology: a review. *British Journal of Dermatology*. 144:696-707, 2001.
- [10] van Aspert-van Erp, A.J, van't Hof-Grootenboer, B.E, Brugal, G, Vooijs, G.P. Identifying cytologic characteristics and grading endocervical columnar cell abnormalities. A study aided by high-definition television. *Acta Cytologica*, 41:1659-1670, 1997.
- [11] Hashiba M, Matsuto T, Arai F, Yamakawa T, Akazawa K: Accessing Endoscopic Images Images for Remote Conference and Diagnosis Using WWW Server with a Secure Socket Layer. *Journal of Medical System*, 24(6): 333-338, 2000.
- [12] Richard Wootton: Recent advances-Telemedicine. *BMJ* 323(8): 557-560, 2001.
- [13] Klutke, P. J, Gostomzyk, J.G, Mattioli, P, et al: Practical evaluation of standard-based low-cost video conferencing in telemedicine and epidemiological applications. *Med. Inform.*, 24:135-145, 1999.
- [14] Frances Mair, Pamela Whitten: Systematic review of studies of patient satisfaction with telemedicine. *BMJ* 320(3): 1517-1520, 2000.

発 表 資 料

題 名	掲 載 誌 ・ 学 会 名 等	発 表 年 月
A method for displaying two images on a screen in distance medical education.	Computer Methods and Programs in Biomedicine	in press
BS programs to RealSystem multimedia contents and multimedia contents from BS programs	Computer Methods and Programs in Biomedicine	in press
Real System による MINCS 衛星放送コンテンツの活用	Digital Medicine	2002年3月/4月
MPEG4 でエンコードされた医療用画像の画質評価	医療情報学会	2002年11月
a simple computerized program for the calculation of the required sample size necessary to ensure statistical accuracy in medical experiments.	Computer methods and programs in Biomedicine	2001年