

デジタル側面頭部X線規格写真撮影の画質の評価

荒 木 元 英¹ 野々村 真 聡¹ 西 村 宣 昭²
川 俣 明 敏³ 片 木 喜 代 治⁴ 藤 下 昌 巳³
丹 羽 金 一 郎¹

1 朝日大学歯学部歯科矯正学講座 (主任: 丹羽金一郎教授)

2 朝日大学大学院歯学研究科

3 朝日大学歯学部歯科放射線学講座 (主任: 藤下昌巳教授)

4 朝日大学附属病院放射線室

抄録 矯正歯科領域において近年イメージングプレート (Imaging Plate) を用いるCR (Computed radiography) といったデジタル画像が, これまでのスクリーン/フィルム法に替わって, 矯正診断においてコンピューター技術の進歩にも併せて多用されるようになった. 本研究の目的は, X線被曝量の低減と矯正診断用画像として適しているかどうかを明らかにすることである.

結果として少なくともスクリーン/フィルム法に代わるCRT診断の可能性を示したと考える. また画像のデジタル化の目的が診断画像の即時表示, 画像保管と検索の容易化であることを考えると最終的にはCRT診断に移行していく可能性が大きい.

キーワード: デジタル, 頭部X線規格写真, 画像処理, 視覚評価法

緒 言

歯科矯正におけるX線撮影では, 近年側面頭部X線規格写真 (以下セファロ) をデジタル化する装置が導入されてきている. これらはスクリーン/フィルム法と同等度の診断能を認め, 低線量で撮影でき患者被曝の軽減にも有効であるとされている¹⁻⁸⁾. デジタル化する検出器は, 輝尽性蛍光体を用いたイメージングプレート (Imaging Plate; 以下IP)⁹⁾や電荷結合素子 (Charged Coupled Device; 以下CCD) やフラットパネルディテクタ (Flat Panel Detector; 以下FDP)¹⁰⁻¹⁴⁾などが開発されている. これらの装置は撮影した画像をディスプレイ (Cathode Ray Tube; 以下CRT) 上で観察・診断するのを原則としている. これまでのセファロ用分析システムでは, フィルムをトレースし分析を行っていたが, このデジタルX線画像システムでは, 直接CRT画像上でポイント入力して分析までを行う. デジタルX線画像システムのために開発されたIPはX線

検出器として, 1) 空間分解能に優れた二次元検出器であり, 2) 小型軽量で必要な附属装置がほとんどない, 積分型検出器であるため, 3) データ収集とデジタル化が分離して正確かつ容易に行え, さらに, 4) 電離箱に匹敵するほどの広い直線性とダイナミックレンジをもつ, などの優れた特徴をもっている. 現在セファロ用としてFuji Computed Radiography (以下FCR): 富士写真フイルム株式会社 (日本), DenOptix: Dentsply (U.S.A.), Digora PCT: ORION CORPORATION SOREDEX (Finland), コンビックス: デイジデント (Israel) などが現在発売されている.

そこで今回セファロ用として普及しつつある, IPにより得られたCRT画像と, スクリーン/フィルム法により得られたセファロ画像を比較して, CRT画像が参照画像として適しているかどうかを判定した.

資料と方法

今回のセファロ撮影方法は, X線検出器としてIPを用いたシステム, DenOptix (Dentsply, U.S.A.) を使用し, 比較対照は, 通常セファロ撮影方法を用いた.

撮影対象は当大学のファントーム1体で, 撮影はその装置の撮影マニュアルに従った. 読影者として, 歯科放射線科医2名と歯科矯正医3名および診療放射線技師1名が各々独立に画質の評価を行った. 歯科放射線科医2名は経験年数28年, 16年, でいずれも歯科放射線学会の認定医で診療放射線技師は経験年数30年である.

本研究は宮田研究奨励金(A)による.
(平成13年6月28日 受理)

また歯科矯正医 3 名も 35 年, 15 年, 15 年いずれも日本矯正歯科学会の指導医 2 名と認定医 1 名である。撮影装置及び撮影条件は, X線発生装置島津社製を使用した。

管電圧は 70kV, 管電流は 150mA, 照射時間は 0.3 秒とした。カセットは TOSHIBA 製, 増感紙は KODAK 製 Lanex200, フィルムは KODAK 製 MXGL-1 を使用した。IP での撮影時は増感紙は使用せず, IP のみを TOSHIBA 製カセットにセットして撮影した。照射時間は, 0.08 秒, なお管電圧 70kV, 管電流 150mA は同じで, 通常のセファロ撮影条件とした。また, カセットには朝日レントゲン社製キャリブレーションメジャーをセットし, このポイントとイアーロッドの上縁をもう一方の基準ポイントとした。

X線写真に影響する諸因子は 1. 装置(焦点など), 2. 撮影条件(管電圧, 管電流, 照射時間), 3. 被写体(硬組織/軟組織, プレ, 解剖学的形態), 4. 付属品(増感紙, フィルム, グリッド, フィルター, カセット), 5. 写真処理(温度, 時間, 液の疲労度, 現像方法)が考えられるが, 今回 IP を使用することを考慮し, 照射時間だけを変化させ至適条件をアルミステップにて得た。

その後画像処理を行った。画像は,

- 1) IP からそのまま取り込まれた画像
- 2) トーンカーブ調整されたもの
- 3) 平均化(イコライズ)されたもの
- 4) アンシャープ(適用量 75%, 半径 10.0pixel, 閾値 0)処理を行ったものについて評価した。

結 果

今回の撮影条件では骨の緻密な側頭骨(外耳道付近)が白くとんでいることと, 軟組織が少し不明瞭である以外は, フィルム画像より明瞭であった。これはコントラストの中心を歯槽骨部や脳頭蓋底に合わせたためこれを回避するために軟組織部にはフィルターを使用した。しかし緻密骨部は骨の厚みを考慮しなければならない。この部のコントラストを上げるには, 線量を増加させなければならない。今回は IP の利点でもある被曝線量の低減を考慮し, 緻密骨部が認識でき, 線量を低減させても画質が十分であると考えられた線量

画質評価の判定項目はいずれも解剖学的構造を元にしたもので次の 5 つとした。

【頭部 X 線規格側貌写真の診査要点】

- 1) 脳頭蓋の形態を把握するに足る画質といえるか。
- 2) 頭蓋底部を把握するに足る画質といえるか。
- 3) 上下顎の形態と相互関係, 及び顎骨内での歯の位置と相互関係を把握するに足る画質といえるか。
- 4) 顎顔面の軟組織, 口唇の形態を把握するに足る画質といえるか。
- 5) 鼻咽腔疾患, 気道狭窄の状態を把握するに足る画質といえるか。

に対して, 診断に

- 1) 十分である
- 2) ほぼ十分である
- 3) どちらともいえない
- 4) やや不十分である
- 5) 不十分である

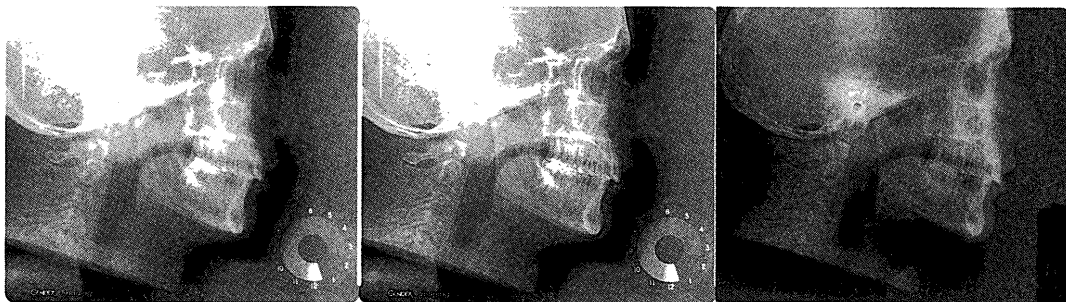
の 5 段階で評価し, 片かっこ内に示す数値をその評価項目の得点とする。3 枚のフィルム画像について各々独立に画質の評価を行った。また今回 CRT 上で評価を行うためスクリーン/フィルム法は, Power Macintosh G3 400MHz (以下 PMG3) に Epson スキャナー ES-2000 を接続して画像を取り込んだ。画像の解像度は全て同条件で 400dpi とした。評価には, PMG3 に CRT として TOTOKU CV711R を接続して評価に使用した。

と関係する照射時間を選択した。

画像処理ソフトウェア Photoshop (Adobe Systems) によって画像処理を加えたもの, トーンカーブ, 平均化(イコライズ), フィルター(アンシャープ, 適用量: 75%, 半径 10.0pixel 閾値 0 の各々の処理をおこなった。また写真 Fig. 1 は

A: 照射時間 0.08: フィルター(アンシャープ, 適用量: 75%, 半径 10.0pixel, 閾値 0) + 平均化(イコライズ) + トーンカーブ調整

B: 照射時間 0.08: 原画像 (Dentsply 社の画像処理



A

B

C

Lateral Cephalogram of CR and SF

後)

C: 照射時間 0.3: スクリーン/フィルム法原画像

読影者による各項目の評点をTable. 1に示す。1) 脳頭蓋の形態を把握するに足る画質の項目は、ほぼどの画像も満たしていた。2) 頭蓋底部を把握するに足る画質は、線量を低減しているため骨の緻密な側頭骨は、やや不明瞭であったため2.0の値となった。3) 上下顎の形態と相互関係、及び顎骨内での歯の位置と相互関係を把握するに足る画質では、スクリーン/フィルム法

がやや骨の菲薄な部分は不明瞭と判断された。4) 顎顔面の軟組織、口唇の形態を把握するに足る画質と、5) 鼻咽腔疾患、気道狭窄の状態を把握するに足る画質がIPの元画像が両者ともやや軟組織が不明瞭であった。

以上より評点が1点台は診断に「十分足りる」ないしは「ほぼ十分である」に含まれている。2点は診断にほぼ十分であると考えられ、今回の結果からいずれの画像も、診断上問題ないと考えられた。

Average score of CRT
mean (± SD)

Means of presentation	Brain case	Base of brain	Correlation of maxillmandibular	Soft tissue	Rhinopharyngeal disease
A	1.00 (± 0.00)	2.00 (± 1.55)	1.17 (± 0.41)	1.00 (± 0.00)	1.00 (± 0.52)
B	1.17 (± 0.41)	1.83 (± 1.60)	1.17 (± 0.41)	2.00 (± 1.10)	2.00 (± 0.52)
C	1.33 (± 0.52)	1.83 (± 1.60)	1.33 (± 0.52)	4.83 (± 0.41)	4.83 (± 0.82)

Evaluation criteria

- 1) Is image quality enough to grasp cranialis configuration?
- 2) Is image quality enough to grasp cranialis basal part of occipital bone?
- 3) Is image quality enough to grasp interrelationship, the location of the odontogenic with the jaw intrabony and interrelationship with the configuration of the maxillo-mandibular?
- 4) Is image quality enough to grasp the soft tissue of the maxillofacial, the configuration of the labia oris?
- 5) Is image quality enough to grasp the catastasis of the epipharynx affectio, the airway constriction?

Evaluation ranking

- (1) It is sufficient.
- (2) It is about sufficient.
- (3) Even which is not here.
- (4) It is slightly sufficient.
- (5) It is insufficient.

考 察

1. IP

「DenOptix」では「イメージングプレート」の輝尽性蛍光物質を特定の波長のレーザーで励起しX線画像情報を蛍光像に変換する。光輝尽発光とは最初の刺激(一次励起)であるX線エネルギーが蛍光体に蓄積され、次にこの蛍光体に光を照射すると(二次励起)、蓄積されたエネルギーに比例した青紫色の光となって発光する。この蛍光発光量を光量センサで計測しそのアナログ信号をデジタル化することによりデジタルセファロ画像が得られる。また、IPは被写体を透過して得られたX線強度分布を忠実にデジタル値に変換するための検出器としての役割を持つ。したがって、よりわずかなX線量から高X線量まで広範囲のX線強度を精度よく検出できることが非常に重要な事項であり、その範囲をダイナミックレンジといい、IPには広いダイナミックレンジが要求されるということになる。IPは約

5桁の広いX線量に対してよい直線性を示すのに対し、スクリーナーフィルム系の直線領域は2桁程度であり、IPの特性が優れている。¹⁾

画像データはTIFF (Tagged Image File Format), JPEG (Joint Photograph Expert Group) BMP (Bitmap) などの一般的ファイル形式で保管するので、セファロ分析ソフトに直ちに供することができるほか、市販解析ソフトも活用できる。

IPはX線照射によってIPに蓄積されたX線エネルギーは読み取りまでの時間経過とともに徐々に熱的に解放されることにより減少する。この現象をフェーディングといい、読み取りまでの時間が8時間の場合、発光量は25%程度減少する。また保管温度が高いほど大きくなる。さらに、IPは自然環境放射線によっても影響を受け、粒状性の悪化につながるため、撮影後はなるべく早く処理(読み取り)をすることが望ましい。²⁰⁾

2. 利点

- 1) フルデジタル化で計測がより簡便で正確になるほか、「イメージングプレート」はラチチュードが広いので、フィルムでは観察しにくい低コントラスト像を計算で改善し、輪郭トレースを容易にすることも可能となった。
- 2) フィルムレス化で銀塩資源、液体现像や廃液処理も不要となったので、省資源、環境保護、コスト削減の観点からも有意義と考えられる。
- 3) フィルムレスにより経費節減ができる。
- 4) 患者被曝線量の減少ができる。
システムの感度が高く、画像処理が可能のため、撮影目的に応じた必要最小限のX線量で画像の形成が可能である。
- 5) 画像処理技術の応用が可能である。
階調補正、幾何学的ひずみ補正、空間フィルタ処理、複数画像の比較、線、輪郭の抽出など多様な画像処理手法により、画質の鮮明化、強調、画像の復元が可能である。
- 6) 画像データの保存と検索が容易である。
- 7) 画像データの定量化が可能である。
画素の分析、濃度測定などの定量的な読み取りが可能である。
- 8) PACSへの応用が可能である。
雑音に強いデジタル技術により、画像の伝送、データ圧縮、保存において画質の低下やひずみがない。
- 9) Computer aided diagnosis(CAD)の応用が可能。

3. 欠点

- 1) データのサンプリングミスにより画像情報の低減および偽像形成が生じる。
- 2) デジタル化に伴う量子化雑音により画像の劣化がある。
- 3) 従来のスクリーンフィルムシステムに比べ空間分解能が低い。
- 4) 装置の大型化および高額化が問題である。

4. 画像評価方法

X線画像の評価方法としては、MTF^{16,17)} (Modulation Transfer Function), ウィナースペクトル^{18,19)}, エントロピー解析²⁰⁾などの物理学的評価方法がある。しかし、これらの方法は画像を観察する人間の視覚・知覚は無視されており、その結果は必ずしも実際の画像の表現能力を反映していない。そのため物理学的データと臨床における観察者の評価がまったく異なることが起こり得る。こうした観点から、画像の持つ表現能力は撮影系、記録系、処理系における物理学的評価と、人間の視覚により行われる観察系の評価により系統的になされることが重要である²¹⁾。

FCRシステムでは、階調処理に4つのパラメーター、周波数処理に3つのパラメーターが用意されている。

このDenOptixシステムでは、階調処理、周波数処理のパラメーターはどちらも1つであり選択できない。Receiver Operation Characteristic解析(以下ROC)²²⁻²⁴⁾は物理学的評価方法と違い、撮影系、記録系、処理系、観察系のすべてを総合し、画像診断を行う立場からの視覚的評価を行う方法であり、現在最も優れた画像の評価方法とされている。しかし、今回はパラメーターがひとつであるためはっきりした差がでないと定量化されないこと。画像の見えるか見えないかではなく確実に再現性のある点として確認出来るかである。以上より、今回は視覚的評価のみを画像診断する際の判定基準とした。判定基準を5段階に分類する方法²⁴⁾が広く用いられているため、今回の判定基準で行った。

5. 周波数処理

FCRシステムでは、周波数処理に3つのパラメーターが用意されている²⁵⁾が、DenOptixシステムでは、1つのパラメーターのみで調整はできない。そこで画像処理ソフトウェアPhotoshop(Adobe Systems)によって最も効果のでやすいアンシャープ(適用量:75% 半径10.0pixel 閾値0), 平均化(イコライズ), トーンカーブ調整の画像処理を加え、元データと比較した。各々の処理は以下に示す方法とした。

6. トーンカーブ調整

画像内入力に対する出力の濃度変化に対するカーブはトーンカーブが45°の場合直線で表わされ、画像の濃度は変わらない。写真などの自然画像の明るさやコントラストを調節するときは、トーンカーブによる補正が、レベル補正よりもきまこまかい調整がしやすい。

7. アンシャープマスク

画像鮮鋭化の手法のひとつで画像の明暗差のある部分を強調し、微細模様を明瞭にすることができる。適用量は強調する強さを決め、また強調する半径はマスクのぼけ具合で、境界からどのくらいの距離まで行うかを決定する。閾値は画像内のどの程度のピクセルの差をエッジと判断させるかの値であり、シャープネス効果のかける「しきい値」はどこからなのかの境界を設定できる。

8. 平均化(イコライズ)

平均化は画像全体の明るさを均一に調整する処理のことで、特にシャドウ部分の可視性を高める。

9. 線量低減

X線は一様に照射してもX線の分布が均一になることはない。これは雑音のためこのX線のゆらぎによる雑音を量子モトル(quantum mottle)と呼んでいる。X線画像では雑音の中でこの量子モトルの占める割合が非常に大きい。CRのようなデジタル画像ではX線の線量を下げても画像を得ることができるが、実際には線量を下げると量子モトルがどんどん大きくなり、その雑音によって像が著しく劣化する²⁶⁾。したがって、従来の増感紙フィルム系とほとんど変わらない線量で

撮影されている。よって、IPの利点の1つである線量の低減を行うため、新たな撮影条件の設定が必要とな

ったため、今回の撮影設定条件を求め約1/4の線量にて診断可能とした。

ま と め

IPのような新しい医用画像の診断能を定量化し客観的に評価していくことは今後益々重要になると考えられる。今回の解析を用いた評価の範囲で、IPの診断能はスクリーン/フィルム法に十分匹敵すると考えられる。今回の研究では、CRTにおける診断方法が十分検討されていないこと、またスクリーン/フィルム法のセファロ写真をスキャナーで取り込みCRT上で判定したことに問題点も考えられる。今回の結果がIPの診断能がスクリーン/フィルム法を凌ぐ理由にはならない

が、少なくともスクリーン/フィルム法に代わるCRT診断の可能性を示したと考える。また、画像のデジタル化の目的が診断画像の即時表示、画像保管と検索の容易化であることを考えると最終的にはCRT診断に移行していく可能性が大きい。矯正治療では一被検者あたりの画像枚数も多く、CRT画像診断のメリットは大きい。さらにCRT診断では各種の画像処理も可能であり、定量的に評価していくことが必要であると考える。

参 考 文 献

- 1) Farman, T. T., Farman A. G. : Clinical trial of panoramic dental radiography using a CCD receptor. *J. Digit. Imaging*, **11** : 169~171, 1998.
- 2) Farman, A. G., Farman T. T. : Panoramic dental radiography using a charge-coupled device receptor. *J. Digit. Imaging*, **11** : 166~168, 1998
- 3) Dula, K., Sanderink, G., Stelt, P. F., Mini, R., Buser, D. : Effects of dose reduction on the detectability of standardized radiolucent lesions in digital panoramic radiography. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endod.*, **86** : 227~233, 1998.
- 4) McDavid, W. D., Welander, U., Brent, D. S., Tronje G. : Digital imaging in rotational panoramic radiography. *Dentomaxillofac. Radiol.*, **24** : 68~75, 1995
- 5) Farman, T. T., Farman, A. G., Kelly, M. S., Firriolo, F. J., Yancey J. M., Stewart, A. V. : Charge-coupled device panoramic radiography. Effect of beam energy on radiation exposure. *Dentomaxillofac. Radiol.*, **21** : 36~40, 1998
- 6) Dove, S. B., McDavid, W. D. : Digital panoramic and extraoral imaging. *Dent. Clin. North Am.*, **37** : 541~551, 1993.
- 7) Dove, S. B., McDavid, W. D., Welander, U., Tronje, G. : Preliminary evaluation of a digital system for rotational panoramic radiography. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol.*, **73** : 623~632, 1992.
- 8) Wenzel, A. : Digital radiography and caries diagnosis. *Dentomaxillofac. Radiol.*, **27** : 3~11, 1998.
- 9) Medical Imaging-The Assessment of Image Quality, ICRU Report 54 (USA) International Commission on Radiation Units and Measurements, 1~39, 1996.
- 10) Sonoda, M., Takano, M., Miyahara, J. et al. : Computed radiography utilizing scanning stimulated luminescence. *Radiology*, **148** : 833~838, 1983.
- 11) 山崎達也, 遠藤 豊, 海部紀之他 : 大画面平面センサを用いたデジタルラジオグラフィ装置の開発. 日放技学誌, 第54回学術大会抄録, 31, 1998.
- 12) 山崎達也 : フラットパネルディテクターX線デジタルカメラCXDIについて. 日放技学誌, **55** : 738~742, 1999.
- 13) 山田真一 : フラットパネルディテクター直接変換方式X線平面検出器(動画対応)の特長. 日放技学誌, **55** : 735~738, 1999.
- 14) 畑中洋一 : フラットパネルディテクターダイレクトラジオグラフィDQE & MTF. 日放技学誌, **55** : 742~744, 1999.
- 15) 千田浩一, 有馬宏寧 : イメージングプレートの比較的短時間におけるフェーディング現象—それが物理測定データに与える影響—. 医用画像情報学会誌, **7** : 79~87, 1990.
- 16) 藤田広志, 滝川 厚, 福西康修他 : デジタルラジオグラフィの画像評価2. MTF. 日放技学誌, **47** : 653~669, 1991.
- 17) 畑川政勝, 井上 誠, 庄垣雅史他 : デジタル系におけるMTFの検討—ファイナルMTFおよびオーバーオールエリアシング—. 日放技学誌, **48** : 1932~1938, 1992.
- 18) 藤田広志, 岸本健治, 蔡 篤儀他 : デジタルラジオグラフィの画像評価3. ウィナーспекトル. 日放技学誌, **48** : 925~936, 1992.
- 19) Maryellen, L. G., Doi K. and Fujita H. : Investigation of basic imaging properties in digital radiography. 7. Noise Wiener Spectra of II-TV digital imaging systems. *Med. Phys.*, **13** : 131~138, 1986.
- 20) Kengyelics, S. M., Davies, A. G., Cowen, A. R. : A comparison of the physical imaging properties of Fuji ST-V, ST-VA, and ST-VN computed radiography image plates. *Med. Phys.*, **25** : 2163~2169, 1998.
- 21) 放射線像情報学. 診療放射線技術学体系(神田幸助編) 第7版, 通商産業研究社(東京), PP. 74~88, 1990.
- 22) Metz, C. E. et al. : Evaluation of receiver operating characteristic curve data in terms of information theory, with applications in radiography. *Radiology*, **109** : 297~303, 1973.
- 23) 山下一也 : 信号検出理論による画質評価. 日放技学誌, **48** : 2081~2092, 1992
- 24) ROC解析の基礎と応用v-vi, 放射線医療技術学叢書, 日本放射線技術学会出版委員会発行(東京), PP. 65~69,

- 1994.
- 25) 丸山智之, 渡辺典男, 川村義彦 (共著): CRにおける multi 周波数処理の noise 特性の検討. 日放技学誌, 57: 837~844, 2001.
-

Evaluation of Digital Lateral Cephalometric Radiography

MOTOHIDE ARAKI¹, MASATO NONOMURA¹, NOBUAKI NISHIMURA²,
AKITOSHI KAWAMATA³, KIYOJI KATAGI⁴, MASAMI FUJISHITA³,
and KIN-ICHIRO NIWA¹

1. Department of Orthodontics, Asahi University School of Dentistry
(Chief : Prof. Kin-ichuro Niwa)

2. Graduate School of Dentistry, Asahi University

3. Department of Radiology, Asahi University School of Dentistry
(Chief : Prof. Masami Fujishita)

4. Radiological Technology, Asahi University hospital
(Chief : Kiyoji Katagi)

Key words : Digital, Cephalogram, Image processing, Vision appraisal method

ABSTRACT Recently, Computed Radiography (CR) with Imaging Plate (IP), a method of digital radiography, has developed in tandem with advance in computer technology. Radiographs produced using the CR system exhibit clearer film images, with greatly reduced radiation exposure, than the conventional system. In this study, the imaging characteristics of the CR system, as it relates to lateral cephalometric radiograph were assessed with their potential for use in routine cephalometric studies. This system also reduces the amount of X-ray contamination.

The results indicated no significant difference between Screen-Film cephalogram and CR.