原 著

先天性股関節脱臼における診断支援ソフトウェアの研究

大森 修・鈴木規芳・佐藤浩郁・渡辺俊介・佐藤憲司

論文受付
1999年11月1日論文受理
2000年1月24日

Code No. 241

社団医療法人呉羽会呉羽総合病院放射線科

緒 言

先天性股関節脱臼(luxatio coxae congenita: LCC)は、先天性脱臼の中で最も発生頻度の高いもので、骨頭が関節唇を越えて外方に移動しているものを脱臼、これを越えないものを亜脱臼と呼び、また、臼蓋形成が不良なもので骨頭位に異常のないものを臼蓋形成不全(Pfannendysplasie)という。LCCの発生はこの半世紀に激減し、X線診断を用いた股関節検診の意義も変化している。

これまで、放射線医学総合研究所の館野、遠藤らによる自動診断システム(ADSLR-1)などの研究成果が報告されているが¹⁾、LCCの激減などさまざまな要因

で実用化には至らなかった。館野、遠藤らが開発したLCC自動診断システムにおける研究では、Signature法を用いX線写真上から骨輪郭部の計測点での位置情報の読み取りを自動化し、それらのデータから距離・角度の計測を行う方法で実現しようとしてきた。これに対して、本研究では、デジタルカメラやマウスなどの日常的な入力デバイスを使用し、画面上の股関節X線像における必要情報を取得した。われわれの目的は、各計測指標を本ソフトウェアにより求め、計測判定するアルゴリズムを開発することであり、容易で正確なLCCの診断支援をしようとするものである。本研究に今回用いた計測・判定データは、生後1年以内の

Study of Computer-aided Diagnostic Software for Congenital Dislocation of the Hip Joint (LCC)

OSAMU OHMORI, KIYOSHI SUZUKI, HIROFUMI SATOH, SHUNSUKE WATANABE, and KENJI SATOH

Department of Radiology, Kureha General Hospital

Received Nov. 1, 1999; Revision accepted Jan. 24, 2000; Code No. 241

Summary

Congenital dislocation of the hip joint (LCC: luxatio coxae congenita) is the most frequent congenital dislocation. We attempted to carry out computer-aided diagnosis (CAD) of LCC by tracing the x-ray image on the display and measuring the hip joint by computer program. We developed software for CAD with Visual C++6.0, and adopted the algorithms of Hilgenreiner's method and Iino's method in our determination of the measurement. We studied 146 examples of hip joints in infants under 1 year of age to obtain the data. It was found that diagnosis by CAD software was equal to physicians' diagnosis in 3- to 4-month-old infants. The ease of diagnosis by this program was confirmed, and it was concluded that computer-aided diagnostic software may contribute to the diagnosis of LCC.

Key words: Computer-aided diagnosis (CAD), Congenital dislocation of hip joint, Luxatio coxae congenita (LCC), Hilgenreiner's method, Iino's method

別刷資料請求先: 〒974-8232 福島県いわき市錦町落合1-1
社団医療法人呉羽会呉羽総合病院 放射線科 大森 修 宛

146例292関節で、これらの結果を中心に報告する。

1. 方法

1-1 使用機器および環境

使用したコンピュータは、NEC VALUESTAR NX (VC30H/5)であり、また、デジタルカメラは、EPSON CP600を用いた。ソフトウェア環境として、operating systemにはWindows98を用い、システム開発用ソフトウェアとして、Visual C++ 6.0 Professional Editionを使用した。

1-2 システム開発と計測手順

1-2-1 校正手順

最初に90mm×90mmのテストチャートをデジタルカメラで撮像し、校正(画面上の1 dotが示す実際の距離mm/dotの計算)を行う。デジタルカメラで撮像したX線写真を、今回開発したソフトウェアで描画した後、画像の必要個所をマウスでポイントして計測し、判定値を記録する(Fig.1, 2)。

Fig. 1 Measuring points and normal values of Hilgenreiner's index. Normal values at ossification center (-). [$h \geq 10$ mm, $d \leq 15$ mm, $\alpha \leq 32^\circ$ (by Narabayashi)]

1-2-2 Hilgenreiner法による評価

Hilgenreiner法においては、手計測およびソフト上でHilgenreinerのパラメータ h , d , α の値を求め、角度・距離を計測比較して誤差を求め、統計処理を行う。このサンプル群についてデータ収集を行い、年齢等における統計分布の比較検討を行う。また、患者撮影体位の歪みの少ないものを選択し、人間による写真読み取り誤差を求める。なお、 h は大腿骨近位骨幹端からY線(腸骨最下端：Y点を含む直線)上に垂線を引いたときの距離、 d はY点から交点までの距離、 α は臼蓋角である(Fig.1)。

1-2-3 Hilgenreiner法と飯野法の統計量比較

Hilgenreiner法の h , d , α , および飯野法の a , b , c における各計測点をマウスでポイントし、絶対誤差を求め、統計量を比較する。なお、 a , b , c の各値は、Fig.2の L [=OO'間距離(両側腸骨内側最下端間距離)]に対する h' [=DE間距離], d' [=DO間距離], l [=LS間距離(大腿骨頸部小舌と坐骨内縁間の距離)]の割合(%)で計算される。この計算に用いた式は $a = (d'/L) \times 100$, $b =$

Fig. 2 Measuring points and normal values of Lino's index. Normal values at 3-4 months: males: $a \leq 55\%$, $b \geq 25\%$, $c \leq 34\%$; females: $a \leq 55\%$, $b \geq 21\%$, $c \leq 35\%$.

Fig. 3 Measuring screen of CAD software for LCC (Hilgenreiner's method).

Fig. 4 Measuring screen of CAD software for LCC (Lino's method).

$(h'/L) \times 100$, $c = (I/L) \times 100$ である。

1-2-4 各法による判定結果

LCCおよびLCC疑いの症例で適切なサンプルを選択し、Hilgenreiner法および飯野法の各プログラムにより、LCCの診断判定結果を比較する。

1-3 計測データの判定基準

プログラム上のLCC判定における基準値は、整形外科における文献²⁻⁴⁾より、Fig.1およびFig.2のように正常値を定め、性別・骨頭核の出現有無・出生後日数等において判定値を変化させる。Hilgenreiner法では、骨頭核の出現前と出現後に分けて判断させ、飯野法では月別、性別で6パターンから選択する手法を採用した。正常での骨頭核は生後3カ月前後で出現が始まり、6カ月で50~60%、10カ月ではほぼ100%出現する。ここでは、骨頭核が10カ月過ぎても出現しないようなケースや、X線写真が質的に判定上好ましくないケースは、診断・計測の対象範囲外とした。

2. 結果

2-1 読み取りによる位置情報ポイント誤差

実際に、人間のポイント誤差がどの程度計測誤差に影響するのかを、画面上の1点(ディスプレイ上に表示された十字クロス形の交点)と股関節計測点(臼蓋嘴)の座標計測(100回)により比較を行った。その結果、中心部からのゆらぎをレーダチャートで表現すると、Fig.5およびFig.6のようになった。誤差は1点計測で $0.178 \pm 0.112\text{mm}$ 、臼蓋嘴で $0.393 \pm 0.206\text{mm}$ であり、両者を比較すると、臼蓋嘴の計測によるゆらぎが1点をポイントしたときの計測値よりも大きかった($p < 0.05$)。十字クロス形交点の計測誤差は、純粋なマ

ウス操作による誤差であり、標的が中心の1点であることから認識による誤差は含まない。臼蓋嘴の計測値は、操作と認識による誤差の和と考えられ、十字クロス計測平均値との差をとると 0.215mm の値を得た。これは、本プログラム上で臼蓋嘴計測を行う際に発生する人間の認識誤差に相当すると考えられる。

2-2 生後日数によるHilgenreiner-h, d, α の変化

Hilgenreiner-h, d, α の各値が生後日数でどのように変化するかを、スプライン関数によりその傾向を観測した(Fig.7~9)。hの値は生後日数で変化し、さらに性別による違いも観察できる。しかし、dの値は生後日数で変化するが、性別による違いは認められない。また、臼蓋角 α に関しては性別により差があることが理解できる。ただし、当院で撮影されたデータは、乳児検診で疑わしきグループが再検査を受ける関係上、正常群のデータとは言い難いことを補足する。

2-3 LCC診断におけるHilgenreiner法と飯野法の結果比較

股関節における脱臼診断が確定しているグループおよび脱臼疑いのグループについて、10例を抜粋して計測判定を比較すると、Tableのようになった。飯野法ではかなり厳密に実診断と一致したが、Hilgenreiner法ではかなり多くLCC診断の拡大判定がされた。この表以外のケースでも結果は同様であり、飯野法ではかなり厳密に判定が一致し余分なLCC判定を下さないのに対して、Hilgenreiner法のアルゴリズム利用では正常群もLCCの判定を下す例が多数認められた。

Fig. 5 Human error in plotting to the center of a cross as measured in terms of distance.

Fig. 6 Human error in plotting the acetabular tegmen as measured in terms of distance.

Fig. 7 [Hilgenreiner-h] Locally weighted scatter plot smoother (tension=66).
Male: thick line, female: thin line.

Fig. 8 [Hilgenreiner-d] Locally weighted scatter plot smoother (tension=66).
Male: thick line, female: thin line.

Fig. 9 [Hilgenreiner-a] Locally weighted scatter plot smoother (tension=66).
Male: thick line, female: thin line.

3. 考 察

これまでサンプリングしたデータ292関節より、横軸に生後日数、縦軸に h , d , α の各値をとり、その傾向線をスプライン関数・スーパースムーザ⁶⁾で表すと、Fig.7~9のように各指標が性別または日数で変化することが理解できる。このことは、整形外科の文献^{2~5)}に述べられているように、体格指標や性別を無視して乳児の股関節X線像の計測判定をすることは危険であることを示唆している。

実験計測の結果より、Hilgenreiner法のように成長の影響を受けやすい指標を含むアルゴリズムでは、厳密に生後日数や個人の体格差を考慮しなければならないことが確認できる。LCCのコンピュータ診断支援においては、体格の影響を含まないアルゴリズムを採用した方が、判定精度が高く操作性のよいソフトウェアを提供できることを確認した。なお、プログラム計測と手計測を同一のX線フィルムで25回計測し、その絶対誤差を求めた。前者は $\Delta h=0.221\pm0.162\text{mm}$,

$\Delta d=0.288\pm0.205\text{mm}$ で、後者は $\Delta h=0.202\pm0.126\text{mm}$, $\Delta d=0.269\pm0.163\text{mm}$ であり、両計測法の有意差は認められなかった($p<0.05$)。

ソフトウェア使用による判定結果は、3~5カ月前後の検診該当月齢において、LCCと診断される乳児では、TableのようにHilgenreiner法および飯野法の各プログラム判定がすべてLCCの診断を示し、 h , d , α および a , b , c のいずれかの指標が異常値を示していることが確認できる。Hilgenreiner法および飯野法の判定結果を比較すると、前者では実際に異常のないグループまでLCCの判定を下す例があり、飯野法のアルゴリズムはHilgenreiner法を使用した症例判定よりも厳格であった。ただし、飯野法では臼蓋形成不全の診断を下すことはできないため、診断ケースにより併用または使い分けをすることが望ましいと考えられる。なお、3~5カ月前後の検診該当月齢乳児において、臼蓋形成不全診断は63.6%がプログラム判定と医師判定が一致した。臼蓋形成不全診断においては骨の形成が不十分なものが多く、計測線を引く際のポイントで判断の差が発生しやすいため、ソフトウェアによる計測では、臼蓋角 $\alpha=2.43\pm1.80$ 度とやや大きな測定上のゆらぎが生じている。それらのゆらぎが発生しても、計測判定を何度でも容易に再試行できることから、十分納得のいく判定結果を得ることができる。その他、生後月数の少ないもの、反対に1年近いものでは、医師の診断上の臨床所見・家族性・骨盤位・過去の治療歴などさまざまな条件が考慮・判断されることもあり、必ずしも判定は一致しないケースも存在する。しかしながら、計測線を引いて比を求めるなど処理手順が面倒なケースでも、コンピュータ上の計測では判定が容易であり、その計測精度および再現性は人間の手計測と比較し違いを認めなかった。Hilgenreiner- h , d , α および飯野指数- a , b , c 等の各パラメータを理解し計測すれ

ば、より正確な診断支援判定が可能である。これまでの実験計測において、本プログラムをLCCの診断支援に利用することで正診率を高め、よりヒューマンエラーを少なくできることを確認した。

4. 結 語

LCCに関する医学的指標が理解できる医学関係者においては、容易にLCC診断支援で利用できるようになる。現在、LCCは激減したとはいえ、当事者には一生の大きな問題として影響を及ぼすものである。現医学において早期診断治療することが最善である以上、本研究で、医師による判定の個人差およびヒューマンエラーをなくし、これらのソフトウェア環境上で判定水準をより高めていくことを願うものである。

謝 辞

本研究の原稿作成にあたりご指導をいただきました当院整形外科 小浜金吾・中瀬猛両先生に御礼申し上げます。

Table Comparison of Hilgenreiner's method and lino's method by measuring determinations of CAD software (10 samples).

Case No.	Doctor's diagnosis	Sex	Days	Agreement of diagnosis			
	LCC: ○ ? : ×	Male or female		Luxation to outside		Luxation to upper side	
				Right	Left	Right	Left
9	○	F	138	○○	○○	○	
33	×	F	137				
37	○	M	105	○	○○		
52	×	F	101	○	○	○	○
87	×	F	172				
99	×	F	106	○	○		
132	○	F	146	○	○○		○
133	○	F	118	○○	○		○
141	×	F	110	○	○		
151	×	F	166				

○: Hilgenreiner's method

◎: lino's method

参考文献

- 1) 鳥脇純一郎, 館野之男, 飯沼 武: 医用X線像のコンピュータ診断. pp.182-190, シュプリングー・フェアラーク東京, 東京, (1994).
- 2) 飯野三郎, 今田 拓: 先天性股関節脱臼の早期発見と集団検診. 外科研究の進歩, 25-45, (1958).
- 3) 猪狩 忠, 氏家利国, 星 秀逸: 先天性股関節脱臼のX線像. あすへの整形外科展望. pp.30-48, 金原出版, 東京, (1979).
- 4) 泉田良一, 泉田重雄: 先天性股関節脱臼・臼蓋形成不全. 図説整形外科診断治療講座. pp70-77, メジカルビュー社, 東京, (1991).
- 5) 蓮江光男, 宇田川英一, 木村博次: 先天股脱非観血的療法の治療成績. 整形外科, 16, 941-956, (1965).
- 6) 大隈 昇: 統計的データ解析とソフトウェア. 放送大学教材. pp.1-85, 放送大学教育振興会, 東京, (1989).

図表の説明

- Fig. 1 ヒルゲンライナー法の計測点(h, d, α)と正常値. 骨頭核未出現時の正常値は, $h \geq 10\text{mm}$, $d \leq 15\text{mm}$, $\alpha \leq 32^\circ$ (檜林による).
- Fig. 2 飯野法の計測点(a, b, c)と正常値. 3~4カ月児の正常値は, 男: $a \leq 55\%$, $b \geq 25\%$, $c \leq 34\%$, 女: $a \leq 55\%$, $b \geq 21\%$, $c \leq 35\%$.
- Fig. 3 LCC診断支援ソフトウェアによるモニタ上の計測画面(ヒルゲンライナー法).
- Fig. 4 LCC診断支援ソフトウェアによるモニタ上の計測画面(飯野法).
- Fig. 5 十字クロスの中心点(直行する2線分の交点)をポイント計測したときの誤差.
- Fig. 6 臼蓋嘴の座標をポイント計測したときの誤差.
- Fig. 7 ヒルゲンライナーの指標hの生後日数による変化(男: 太線 女: 細線). 散布図およびスプライン関数(Lowess: tension=66).
- Fig. 8 ヒルゲンライナーの指標dの生後日数による変化(男: 太線 女: 細線). 散布図およびスプライン関数(Lowess: tension=66).
- Fig. 9 ヒルゲンライナーの指標 α の生後日数による変化(男: 太線 女: 細線). 散布図およびスプライン関数(Lowess: tension=66).

Table ヒルゲンライナー法および飯野法のアルゴリズムを利用した二つの診断支援ソフトウェアにおける判定結果の比較(診断がLCCおよびLCC疑いの10例について).