

兒童骨齡 DR 檢查手腕部正位穿透式球管曝光參數優化選擇

趙英威，倪曉龍，王文海，程曉光

北京積水潭醫院放射科，北京 100035 中國

作者簡介：趙英威，(1968-)，女，主管技師，主要從事放射醫學影像技術工作。

電話 13651345810

通訊作者：程曉光，(1965-)，男，博士，主任醫師，主要從事放射醫學影像診斷與

防護工作。信箱：xiao65@263.net

摘要：**目的** 通過對兒童骨齡 DR 檢查手腕部正位穿透式球管曝光參數優化選擇，達到"好圖像低劑量"的目標，在滿足診斷的前提下將輻射劑量降至較低水準。**方法** 採用穿透式球管移動 X 光機，利用亞克力板和大齡兒童手腕部干裸骨做被照體，攝影距離固定為 70cm 不變，分別改變 kV 和 mAs，進行曝光。每次曝光時，同時監測輻射劑量，並記錄實際所出的曝光參數值和輻射劑量值。對獲得的圖像按優、良、差評選，以選出的優質圖像所對應的曝光參數作為選擇目標，再對照所測輻射劑量值，確立出理想的曝光參數範圍，然後進行臨床驗證。**結果** 相同管電壓條件下，隨著 mAs 的增加，輻射劑量顯著增加;相同 mAs 條件下，隨著管電壓的增加，輻射劑量無顯著增加。相同管電壓條件下，mAs 不同，圖像質量之間有顯著差別 (P=0.033);相同 mAs 條件下，管電壓不同，圖像質量之間無顯著差別 (P=0.472)。曝光參數選擇在 70-75kV，0.15-0.25mAs 範圍時，獲得的圖像品質均為優，臨床驗證也得到了證實。此時，監測到的皮膚入射劑量為 7.127-13.77 μ Gy (平均 10.301 μ Gy) 範圍。**結論** 利用穿透式球管 DR 系統進行兒童手腕部攝影，曝光參數選擇 75kV，0.15-0.20mAs，均能獲得滿意的圖像，入射劑量在 13.77 μ Gy 以下。

關鍵詞：兒童骨齡 DR 攝影;曝光參數;優化選擇;輻射劑量

優化兒童骨齡 DR 檢查中手腕前柱膜穿透管的暴露參數

趙英偉、倪小龍、王文海、程曉光

北京吉水潭醫院放射科，北京 100035 中國

摘要: 通過優化兒童骨齡 DR 檢查中手腕的暴露參數, 在符合診斷要求的前提下, 將輻射劑量降低到較低水準, 實現"好形象、低劑量"的目標**方法**以丙烯酸板和老兒手腕幹骨為主體。攝影距離固定在 70cm, kV 和 mA 分別更改以供曝光。監測輻射劑量, 並記錄每次暴露期間的實際暴露參數和輻射劑量值。根據所獲取圖像的最佳、好壞選擇, 選擇與所選高質量圖像相對應的曝光參數作為選擇目標, 然後通過比較測得的輻射劑量值確定理想的曝光參數範圍, 然後進行臨床驗證。**結果**在同一管電壓下, 隨著 mAs 的增加, 輻射劑量顯著增加: 在同一情況下, 隨著管電壓的增加, 輻射劑量沒有顯著增加。在同一管電壓下, 具有不同 mA 的影像品質 (P = 0.033) 存在顯著差異: 在同一管電壓下, 不同管電壓的圖像品質 (P = 0.472) 之間沒有顯著差異。在 70-75kV、0.15-0.25mA 範圍內選擇暴露參數時, 圖像品質極佳, 臨床驗證也得到確認。檢測到的皮膚事件劑量在 7.127-13.77 μ gy (平均 10.301 μ gy) 範圍內。**結論**使用 DR 系統進行兒童手腕攝影, 75 千伏、0.15-0.25mAs 的曝光參數可以獲得令人滿意的圖像, 入口表面劑量低於 13.77 μ Gy

關鍵詞: 兒童骨齡 DR 檢查; 曝光參數; 優化選擇; 輻射劑量

引言

骨齡, 即骨骼發育的年齡⁽¹⁾, 是目前反映骨發育成熟情況的最準確、最有力指標之一, 在司法、醫療、體育等領域有著廣泛且重大的實際應用意義。隨著我國人民生活水準的提高, 對青少年兒童的健康生長髮育和成年身高預測越加重視。在臨床上, 通過骨齡分析, 結合體檢及實驗室檢查, 能夠及時發現影響兒童生長髮育及疾病原因, 及時採取有效干預措施, 以獲得良好預後^(2, 3)。骨齡的應用範圍越來越廣泛, 凡涉及兒童青少年生長髮育的領域幾乎都要進行骨齡評價⁽⁴⁾。人類骨齡的測量方法非常繁多, 通常需要藉助影像學檢查, 如 X 線⁽⁵⁾ 或 MRI⁽⁶⁾, 前者較為多見。此外人類身體多部位均可用於骨齡的評定⁽⁷⁾, 如手腕部、足部、骨盆及肩、肘、髖、膝、踝等大關節, 且以手腕部最為常用, 現代研究表明, 左側與右側的手、腕部骨發育並無顯著差別⁽⁸⁾; 且在發育良好的兒童群體中, 這種差別還會進一步縮小。但習慣上, 臨床常用的骨齡評估方法, 如 Greulich Pyle (G-P) 圖譜法⁽⁹⁾、Tanner Whitehouse (TW) 計分法⁽¹⁰⁾ 以及中華 05 計分法⁽¹¹⁾ 仍以左手左腕正位 X 線數據⁽¹²⁾ (即骨齡標準片) 為

基礎。

近年來我國社會飛速發展，人民的生活水準有了大幅度提高，生活習慣及飲食結構有了較大的改變，中國青少年兒童的骨發育明顯加快，公共衛生領域對青少年兒童的的發育情況也愈發關注⁽¹³⁾，為調查我國現階段青少年兒童的營養與健康情況，中國疾病預防控制中心營養與健康所和北京積水潭醫院共同合作了科學研究專案：《中國 0-18 歲兒童營養與健康系統調查與應用》（專案編號：2017FY101100）⁽¹⁴⁾。其首要工作是收集的來自中國七大地理區域、28 個取樣點 0-18 歲青少年兒童的骨齡標準片。但是，標準骨齡片的拍攝主要依賴於各醫院中的固定式大型 DR 設備，需要被檢者前往醫院方能採集骨齡片，不具備靈活性，極大地限制了專案的開展；按照傳統標準骨齡片採集方式，被檢者的難免全身均曝露於 X 射線之下，增加了許多不必要的輻射劑量。為了專案的順利進行以及減少被檢者不必要的暴露，我們希望設計一款專用於兒童左手手腕 X 線正位片的照相機，該設備應同時具備便於攜帶、足夠封閉、輻射劑量低、圖像品質好的特點，為此，我們與上海黛美醫療科技有限公司合作研發出了一種新型低劑量便攜式 X 射線機成像系統系統⁽¹⁵⁾（圖 1），主要由便攜式 X 射線機和配套的計算機系統構成，X 射線機採用幾乎全密封的箱體，採集圖像時被檢者只需將手伸入箱體下方的覆以鉛簾的開口處即可，在箱體外幾乎檢測不到輻射劑量，避免身體其他部位不必要的暴露。該設備體積小，可裝至箱中託運，非常便捷。為了減少輻射劑量同時保證圖像品質，我們對該設備進行了嚴格測試，並對兒童手腕部正位攝影曝光參數進行了優化，現報導如下。



圖 1. XBone 便攜式 X 射線機成像系統外

1 材料與方法

1.1 試驗裝置：

1.1.1 上海黛美醫療科技有限公司研發的 XBone 便攜式 X 射線機成像系統，透射靶 X 射線球管。碘化鉍（CsI）+非晶矽結構的無線平板探測器，型號為 750cw；

1.1.2 2.5cm 厚亞克力板一塊和大齡兒童的手腕部干裸骨一段。

1.1.3 Raysofe X 射線劑量測試儀，探頭×2 R/F Sensor SN：201087，溯源至上海市計量檢測科學研究院（2018.3.17），校準因數接近 1。

1.2 方法：利用 2.5cm 厚亞克力板和大齡兒童手腕部幹裸骨做被照體（圖 2），攝影距離固定為 70cm 不變，分別改變 kV 和 mAs，進行曝光。每次曝光時，同時監測輻射劑量，並記錄實際所顯示的曝光參數和輻射劑量值。對獲得的每幅圖像不做任何后處理（圖 3），統一調出在一個顯示幕面上，按照優、良、差三級進行評價。以解剖結構尺撓骨遠端、腕骨、掌指骨的骨骺和骨紋理顯示的清晰程度為評價指標。清晰顯示為優，顯示為良，隱約可見為差。統計並評估優質圖像所對應的曝光參數值並結合輻射劑量值進行優化選擇，確定出理想曝光參數範圍。再以參與研發的成員及其家屬的小孩做志願者進行攝影驗證。

1.3 統計學處理：

採用 SPSS 21.0 軟體進行分析，檢驗符合正態分佈，對於管電壓、管電流與輻射劑量之間相關關係採用相關分析檢驗；對於管電壓、管電流對圖像質量的影響採用卡方檢驗，以 $p < 0.05$ 為差異有統計學意義。



圖 2. 手腕部幹裸骨攝影示意圖



圖 3. 手腕部幹裸骨 X 線正位影像

2、結果

2.1 在管電壓為 60 kV、65 kV、70 kV、75 kV、80 kV 的條件下分別將管電流數值設定為 100 μ A, 200 μ A, 300 μ A, 400 μ A 和 500 μ A, 固定曝光時間為 500ms, 比較不同曝光參數下測得的入射劑量及對應圖像的評價等級, 其統計結果見表 1。

表 1. 不同曝光參數下測得的入射劑量及對應影像的評價等級統計結

果

序號	管電 壓 (千 伏)	管電流 (μ A)	曝光時 間 (mS)	實際曝光 時間 (mS)	但	入射劑 量 (μ Gy)	圖像 品質
1	60	100	500	458.6	0.05	1.548	差
2	60	200	500	456.6	0.10	2.900	差
3	60	300	500	459.4	0.15	4.238	差
4	60	400	500	458.8	0.20	5.514	良
5	60	500	500	458.3	0.25	6.812	良
1	65	100	500	457.5	0.05	2.019	差
2	65	200	500	457.5	0.10	3.858	差
3	65	300	500	456.3	0.15	5.600	良
4	65	400	500	457.6	0.20	7.278	良
5	65	500	500	455.7	0.25	8.986	優
1	70	100	500	459.3	0.05	2.634	差
2	70	200	500	458.2	0.10	4.905	差
3	70	300	500	457.2	0.15	7.127	優
4	70	400	500	455.2	0.20	9.422	優
5	70	500	500	458.9	0.25	11.59	優
1	75	100	500	455.0	0.05	3.041	差
2	75	200	500	460.1	0.10	5.856	良
3	75	300	500	457.2	0.15	8.544	優
4	75	400	500	459.1	0.20	11.35	優
5	75	500	500	456.8	0.25	13.77	優
1	80	100	500	459.2	0.05	3.785	差
2	80	200	500	457.1	0.10	7.085	優
3	80	300	500	458.3	0.15	10.28	優
4	80	400	500	459.7	0.20	13.64	良

5	80	500	500	459.3	0.25	16.40	良
---	----	-----	-----	-------	------	-------	---

2.2 通過對表 1 的數據分析與歸納，統計出了 25 幅測試圖像品質在 kV 和 mAs 中的分佈情況，見表 2 與表 3。

表 2. 管電壓與影像質量之間的相關關係

管電壓 (kV)	圖像品質			合計
	優	良	差	
60	0	2	3	5
65	1	2	2	5
70	3	0	2	5
75	3	1	1	5
80	2	2	1	5
合計	9	7	9	25

卡方檢驗 $\chi^2=7.619$, $P=0.472$

管電壓不同，圖像質量之間無顯著變化。

表 3. 管電流與影像質量之間的相關關係

管電流 (μ A)	圖像品質			合計
	優	良	差	
100	0	0	5	5
200	1	1	3	5
300	3	1	1	5
400	2	3	0	5
500	3	2	0	5
合計	9	7	9	25

卡方檢驗， $\chi^2=16.778$ ， $P=0.033$

管電流不同，圖像質量之間有顯著差別。

2.3 根據表 1 的結果選取了 9 幅優質圖像，並分別列舉這 9 幅圖像所設置的曝光參數和測得的入射劑量（表 4）。當曝光條件為 80kV，0.10 mAs 時，測得的入射劑量最低，僅 7.085 uGy；將曝光參數設置為 75kV，0.25mAs 時，測得的入射劑量則有 13.77 uGy，為這 9 次曝光中的最高值。總體而言，被檢者獲得優質圖像的平均輻射劑量為 9.795 uGy。

表 4.9 幅優質影像與選取的參數 kV、mAs 和入射劑量之間的關係統計結果

優圖 序號	曝光參數		入射劑量（uGy）
	千伏	mAs	
1	65	0.25	8.986
2	70	0.15	7.127
3	70	0.20	9.422
4	70	0.25	11.59
5	75	0.15	8.544
6	75	0.20	11.35
7	75	0.25	13.77
8	80	0.10	7.085
9	80	0.15	10.28
平均	73	0.18	9.795

2.4 驗證：根據表 4 統計的曝光參數平均值、獲得優質圖像的幾率以及輻射劑量的大小，結合設備實際曝光參數調節功能，設定 70-75kV、0.15-0.25mAs 為優選出的最佳曝光參數範圍，對五名志願者兒童的左手腕部進行了實際拍照，獲得的 5 幅圖像均為滿意，見（圖 3、圖 4）。



圖 4.9 歲女孩手腕部正位像

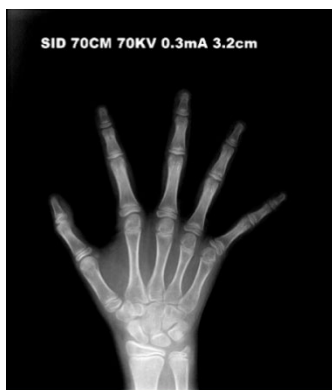


圖 5.10 歲女孩手腕部正位像

3 討論

XBone 便攜式 DR 系統是專門用於兒童骨齡檢查手腕部正位攝影的 X 射線機，

與常見的 DR 設備不同，該機配置的是透射靶 X 射線球管⁽¹⁵⁾，其結構特點、物理參數與反射靶球管相比有很大區別(16-18)。反射靶球管的陽極為鎢，焦點形態為方形，標稱焦點常見有 1.2 (大)、0.6 (小)、0.3 (微)，有效焦點面的分佈存在足跟效應⁽¹⁸⁾，應用的主要是連續射線。該機透射靶球管的陽極為鉬，焦點形態為圓形，標稱焦點 0.25，有效焦點投影面的分佈為離心性的對稱拓展，不存在有陽極效應。微焦點決定了它的固有空間解析度高⁽¹⁹⁾，X 射線管輻射劑量分佈情況明顯好於反射式⁽¹⁸⁾，為提高影像空間解析度奠定了基礎。我們通過用線對方卡對透射靶球管測試，目視達到 4.3LP/mm。透射靶球管陽極靶面很薄，靶的厚度減小，同時造成產生 X 射線的強度不足⁽²⁰⁾，散熱能力差，它的功率較低，目前僅有 40 瓦。應用的主要是特徵射線，對厚部位攝影受到限制，有待今後提高。

通過對該機曝光參數的優化選擇，確立了兒童腕部正位最佳曝光參數範圍，即 SID 為 70cm 時，管電壓 70-75kV (平均 73 kV)，曝光量 0.15-0.25mAs (平均 0.20mAs)，此時測得的皮膚入射劑量為 7.127-13.77 μ Gy (平均 10.301 μ Gy)。此平均劑量值是臧桂霞等報導⁽²¹⁾的嬰幼兒胸 DR 攝影平均入射體表劑量 (48 μ Gy) 的五分之一;是常規 DR 腕關節攝影條件(45-50kV, 2mAs)的入射體表劑量(40 μ Gy)的四分之一。這樣低的曝光量，完全可以用於兒童骨齡的普查。

本文優選出的曝光參數所測得的輻射劑量之所以能達到這麼低的水準，主要是因為成像能譜的不同。常規的 DR 系統使用的是反射靶 X 線球管，陽極靶面為鎢金屬，而本文使用的是透射靶 X 線球管⁽¹⁵⁾，陽極靶面為鉬金屬，兩者產的 X 線能譜不同，反射靶球管是以連續輻射為主，透射靶球管是以特徵輻射為主。特徵輻射是高速電子擊脫靶物質原子的內層軌道電子，外層軌道電子躍遷而產生的一種放射方式。特徵放射的 X 線光子能量與衝擊靶物質的電子能量無關，只服從於靶物質的原子特性⁽²²⁾。鉬的原子序數是 73，與鎢 74 相鄰，要想使鉬產生特徵輻射，管電壓必須達到 65kV 以上。我們優選出的曝光參數管電壓設定為 70-75kV，其高速電子完全可擊脫鉬靶物質原子的內層軌道電子，產生特徵放射。鉬的特徵輻射強度：11/22/33/44/100keV。50-60keV 為峰值⁽²³⁾，鉬的能譜圖見圖 6。

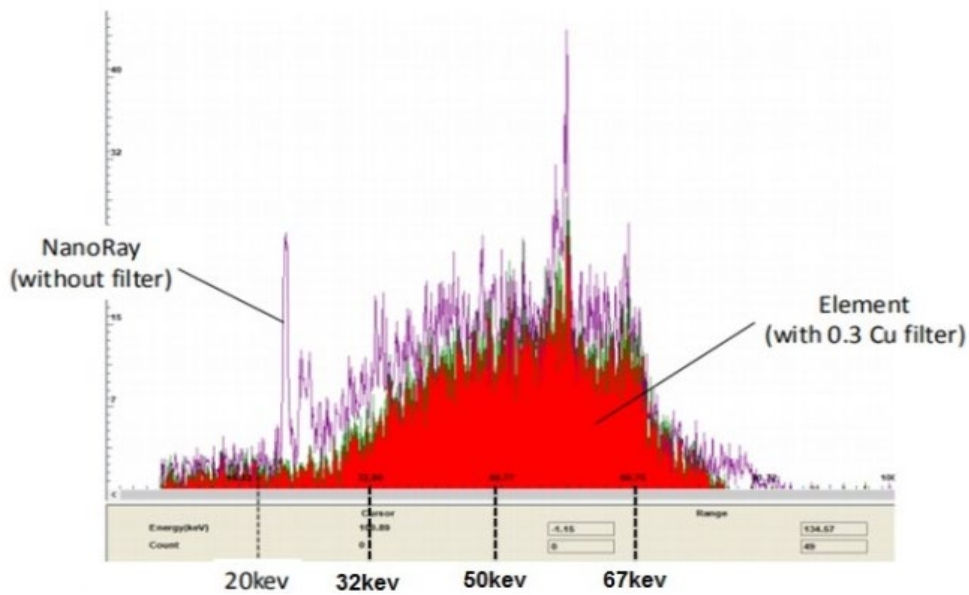


圖 6 鈮的特徵輻射能譜圖

決定感光效應的 3 大要素 kV、mAs 和距離 (SID)⁽²³⁾，也就是決定曝光量的 3 要素。對於特徵放射而言，一旦 kV 和 SID 固定，決定曝光劑量的因素就是 mAs。因此，使用這類設備時，在選擇曝光參數的思路需要改變以往隨著被檢部位厚度的增加而提高管電壓的觀念。依據這一理論指導，我們在實際應用時，一般將管電壓固定在 75kV，再根據手腕部體厚適當調節 mAs。又因該機曝光時間固定為 500ms，故只有通過改變管電流的方式來改變 mAs。根據本文優化的結果，我們建議在 300/400/500 μ A 三檔中調節管電流。時至今日，我們利用上述曝光條件檢查了 6 千多例骨齡受檢者，均獲得了滿意的圖像品質。

本文主要介紹了一款全新的專用於兒童骨齡檢查的便攜式 X 射線機成像系統，其推薦使用的曝光條件是：管電壓 75kV，曝光時間 500ms，再根據被照手腕部體厚在 300/400/500 μ A 三檔中調節管電流。此條件下被照部位的皮膚入射劑量為 7.127-13.77 μ Gy (平均 10.301 μ Gy)，做到了在保證圖像品質的前提下盡可能的降低輻射劑量，是一種非常理想的 X 線成像設備。但其仍存在產生 X 射線的

強度不足、散熱能力差、功率低、厚部位攝影受到限制等缺陷，有待今後提高。

參考資料

1. 王岩, 霍愛華, 王大為, 沈雲, 彭芸. 基於深度學習人工智慧骨齡測評系統臨床應用[J].中國醫學影像技術, 2021, 37 (01): 104-107.
2. 鄧榮, 李迎, 黃仁. 兒童青少年骨齡分析在臨床工作中的應用[J].中國臨床新醫學, 2018, 11: 376-378.
3. 陳傑生, 秦瑛, 李思瑤, 李晴. 兒童身高促進中骨齡評價-環境干預的價值探析[J].中國實用醫藥, 2021, 16 (02): 104-105.
4. 張紹岩, 王姿歡, 蔣競雄. 骨齡評價方法的發展及應用[J].中國婦幼衛生雜誌, 2012, 3 (6): 345-348.
5. 王嘉慶, 梅禮曄, 張俊華. 基於深度學習的手骨 X 射線圖像骨齡評估[J].計算機工程, 2021, 47 (01): 291-297.
6. 威德克·湯瑪斯·吉納特·皮婭·埃哈默·湯瑪斯·施瓦克·托爾斯滕·烏爾施勒·馬丁·舍勒·伊娃. 骨齡估計與格賴利希-派爾地圖集使用 3T MR 圖像的手和手腕 J 法醫學國際, 2020, 319: 110654
7. 曼祖爾·莫卧兒 A、哈桑·N、艾哈邁德·骨齡評估方法：關鍵審查。派克 J Med Sci. 2014;30 (1): 211-215.
8. 朱順姬. CHN 圖譜法評估兒童左右手骨齡發育研究[J].中國全科醫學, 2017, 20 (S1): 143-145.
9. 格賴利希 I. Pyle, 手和手腕骨骼發育的放射圖集：第二版[J].加州和西醫, 1959, 91 (1)
10. 羅伯特 M. 瑪莉娜, 加斯頓·貝南骨骼成熟度評估和成人身高預測 (TW3 方法) [J].《美國人類生物學雜誌》, 2002 年, 14 (6)
11. 張紹岩. 中國人手腕部骨齡標準--中華 05 及其應用[M]. 北京科學出版社, 2015: 25-75.
12. 劉潔琳, 劉傑, 骨齡評估系統發展綜述[J].生命科學儀器, 2017, 15 (02): 9-13.
13. 蔡廣, 潘其樂, 朱鎔鑫. 正常兒童青少年 GP 圖譜法和中華 05 法評估骨齡一致性研究[J].中國循證兒科雜誌, 2020, 15 (06): 441-446.
14. 中國 0-18 歲兒童營養與健康系統調查與應用, 國家重點研發計劃重點專項和科技基礎資源調查專項, 2017, No.2017FY101100.
15. XBone 使用說明書, 版本: V1.0 上海黛美醫療科技有限公司, 出版日期: 2019, 07.
16. 邵欣, 鄧玉福, 馬躍, 於桂英. X 光管的構造、原理及應用[J].瀋陽師範大學學報 (自然科學版), 2012, 30 (03): 354-359.
17. 周亮, 王文川, 周林, 李名加, 梁川, 章法強. 透射式 X 光管研製[J].強輻射與粒子束, 2020, 32 (02): 109-111.
18. 高峰, 李志. X 射線管輻射劑量分佈的理論分析與實驗測量[J].物理實驗, 2007 (08): 25-27+1.
19. 金華勇. 醫用 X 射線管的焦點測量中應注意的幾個問題[J].計量與測試技術, 2006 (07): 32-33.
20. 鄭磊, 劉華榮, 孫步梁, 王俊聽, 羅婷婷, 李藝晶. 微焦點 X 射線管透射式陽極靶的優化設計[J].真空科學與技術學報, 2015, 35 (12): 1443-1448.
21. 臧桂霞, 閻涓淳, 許書聰, 袁新宇, 任玉旺, 趙妍. 嬰幼兒胸部數位化 X 射線攝影曝光參數的優化[J].中華放射醫學與防護雜誌, 2017, 37 (06): 476-480.
22. 石明國主編, 中華醫學影像技術學, 影像設備結構與原理卷[M], 北京: 人民衛生出版社, 2017 年 9 月第 1 版, P1.
23. 余建明主編, 實用醫學影像技術[M], 北京: 人民衛生出版社, 2015 年第 1 版.

