

قال تعالى

﴿بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ﴾

﴿وَيَسْأَلُونَكَ عَنِ الرُّوحِ قُلِ الرُّوحُ مِنْ أَمْرِ رَبِّي وَمَا أُوتِيتُمْ

مِّنَ الْعِلْمِ إِلَّا قَلِيلًا﴾ (الإسراء ٨٥)

# **Dedication**

To my Parents

To my wife and sons

To all my Family

I dedicate this work

## **ACKNOWLEDGEMENTS**

I would like to thank my research supervisor Dr. Abdelmoneim Adam Sulieman for his great efforts, continuous guidance and support. I would also like to thank my co-supervisor Dr. Hussein Ahmed Hassan for his valuable suggestions and guidance. My gratitude and thanks extend to Mr.Ali Abdelrazig and the Sudan Atomic Energy Commission (SAEC) team as well as thanking all the Radiology staff members at Khartoum state governmental and private hospitals involved in this study for their continuous help.

# TABLE OF CONTENTS

<b>Title</b>	<b>Page No.</b>
Dedication	II
Acknowledgements	III
Contents	IV
English Abstract	VI
Arabic Abstract	VIII
List of Figures	X
List of Tables	XI
<b>CHAPTER ONE: INTRODUCTION</b>	
1.1. Historical background	1
1.2. Planar Imaging	2
1.2.1.Screen Film radiography (SFR)	2
1.2.2. Computed Radiography (CR)	4
1.2.3.Digital Radiography (DR)	4
1.3. Optimization of diagnostic radiology	5
1.4. Quality Assurance (QA) and Quality Control (QC)	6
1.5. Problem of Study	7
1.6. Objectives	7
1.6.1General Objectives	7
1.6.2Specific Objectives	7
1.7. Thesis outlines	8
<b>CHAPTER TWO:THEORETICAL BACKGROUND AND PREVIOUS STUDIES</b>	
2.1 Theoretical Background	9
2.1.1X-ray nature and Production	9
2.1.2 The x ray Machine	10
2.1.2.1The x ray Tube	10
2.1.2.2 The Anode	11
2.1.2.3 The Cathode	12
2.1.2.4 The Envelop and Tube Housing	13
2.1.2.5 The x-ray Circuit	14
2.1.3 X-ray Production Process	16
2.1.4 Types of Radiographic Image Formation and Processing	18
2.1.4.1 Conventional or Screen/Film Radiography (SFR)	18
2.1.4.2 Computed Radiography (CR)	21
2.1.4.2.1 History of CR	21
2.1.4.2.2 CR Image Formation & Processing	22
2.1.4.3 Digital Radiography (DR) Image Processing	23
2.1.4.3.1 History of DR	23
2.1.4.3.2 DR Image Formation and Processing	24
2.1.5Image quality in Projection Radiography	26
2.1.5.1 Backgrounds	26
2.1.5.2 Image Quality in Film-Screen Radiography (FSR)	27
2.1.5.2.1 Film Images	27
2.1.5.2.2 Exposure Factors for FSR	27
2.1.5.2.3 FSR Quality Factors	27
2.1.5.2.3.1 Density	28
2.1.5.2.3.2 Contrast	29
2.1.5.2.3.3 Resolution	30
2.1.5.2.3.4 Distortion	30
2.1.6Image Quality in Digital Radiography	32
2.1.6.1 Digital Radiographic Images	32

2.1.6.2 Digital Image Quality Factors	32
2.1.6.2.1 Brightness	32
2.1.6.2.2 Contrast	32
2.1.6.2.3 Resolution	34
2.1.6.2.4 Distortion	35
2.1.6.2.5 Exposure Index	35
2.1.6.2.6 Noise	36
2.1.7 Overview of Radiation Protection and Dosimetry in Projection Radiography	37
2.1.7.1 Biologic Damage Potential	37
2.1.7.2 Evaluation of Patient Doses	39
2.1.7.3 Comparison of entrance surface dose in SFR, CR and DR	40
2.1.8 Radiation Protection in Diagnostic Radiology	41
2.1.8.1 Justification	41
2.1.8.2 Optimization	41
2.1.8.3 Dose limits	42
2.1.8.3.1 Staff dose limits	43
2.1.8.2.2 Diagnostic Reference Levels	43
2.1.8.4 Facilities and Equipment	44
2.1.8.5 Image Quality Criteria	45
2.1.8.6 Operational Conditions Associated with Optimization	47
2.1.8.7 Application factors Associated with Optimization	48
2.2 Previous studies	50
2.2.1 Previous studies in Sudan	50
2.2.2 International Previous Studies	54
<b>CHAPTER THREE: MATERIALS AND METHODS:</b>	
3.1. Material	64
3.2 Methods	64
3.2.1 X-ray departments and machines	64
3.2.2 Patients Demographics and Technical Factors	65
3.2.3 Clinical Referral Criteria	67
3.2.4 Equipment quality control (QC)	67
3.2.5 Dose calculation	67
3.2.6 Repeat(Reject) analysis	68
3.2.7 Image analysis	69
3.2.7.1 Evaluation Criteria	69
3.2.7.2 Visual grading analysis	70
<b>CHAPTER FOUR: RESULTS</b>	
4.1 Evaluation of Clinical Referral Criteria	71
4.2 Equipment QC Tests	72
4.3 Patient dose measurement	73
4.4 Rejection Analysis	73
4.5 Image Criteria Analysis	75
<b>CHAPTER FIVE: DISCUSSION, CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS</b>	
5.1. Discussion	77
5.2. Conclusion	80
5.3. Recommendations	81
<b>REFERENCES</b>	82
<b>APPENDICES</b>	87

## ABSTRACT

Medical imaging using X-radiation is useful for supporting diagnosis of numerous diseases, but due to radiation risk, patient protection is an important safety issue. For that, the assessment of radiation dose to patients as well as the necessary image quality level that support diagnosing the suspected pathology is required for optimized X-radiation imaging. This prospective study aimed to investigate the factors affecting the patient's radiation doses and the associated radiographic image quality in the real practice of common planar radiography examinations. Patient entrance surface air kerma (ESAK (mGy) during chest, abdominal and pelvis X-ray procedures in screen film radiography (SFR) and computed radiography (CR) along with the associated image criteria were assessed in ten selected x-ray departments in Khartoum state hospitals. The assessment was carried out using the internationally recommended standards and guidelines in order to recommend on national diagnostic reference levels (DRLs). Quality control (QC) tests, clinical referral issues and causes image rejection were conducted as initial part of this study. Patients' dose and image quality were evaluated for a total of 846 patients. ESAK (mGy) were calculated from exposure parameters using DosCal software. The X-ray tube output (mGy/mAs), accuracy of exposure factors, linearity and reproducibility were measured using an Unfors Xi dosimeter, while densitometry measures were performed using processor control densitometer, serial number 211-2176F. Image quality was evaluated by using the visual grading analysis technique and based on the European guidelines Quality Criteria for Diagnostic Radiographic Images. Based on the obtained results, the mean percentage and range of good quality images were 71.3 (56–86.1) for chest posteroanterior (PA), 76.1 (65–91) for abdomen anteroposterior (AP) and 70.7 (35.7–92.6) for pelvis (AP). These findings regarding image quality reveal wide variations among the various hospitals and procedures with moderate staff awareness about the guidelines. The corresponding mean ESAK (mGy) were  $0.5 \pm 0.3$ ,  $3.7 \pm 1.7$  and  $3.6 \pm 1.6$  per procedure, respectively. The ESAK values for patients undergoing abdominal and pelvic X-ray procedures

showed comparable values in relation to the international diagnostic reference levels (DRLs), while they were twice as high for chest X-ray procedures. There are main factors contributed in these findings. These include; Faulty X-ray machines, improper image processing conditions, exposure factor errors and patient communication errors.

Applying of an organized and comprehensive quality control program within these departments specifically and within other similar departments in Sudan generally, as well as establishing quality criteria associated with DRLs for the various radiographic examinations based on the international recommendations is critical to maintain the desired image quality, while keeping the radiation dose to patients at a reasonable level. Finally, the transition from conventional screen film radiography (SFR) to digital technology in diagnostic radiology with the staff training are required as part of the optimization process.

## ملخص البحث

يعتبر التصوير الطبي باستخدام الأشعة السينية من الوسائل المفيدة والداعمة لتشخيص العديد من الأمراض، ولكن نظرا لمخاطر الإشعاع، فإن حماية المرضى تعتبر من قضايا السلامة الهامة. لذلك فإن تقييم الجرعة الإشعاعية للمرضى فضلا عن جودة الصورة اللازمة لأغراض تشخيص المرض المتوقع مطلوب لأتملة التصوير بالأشعة السينية.

هدفت هذه الدراسة إلى استكشاف العوامل التي تؤثر على الجرعات الإشعاعية للمريض وما يرتبط بها من جودة للصور الشعاعية في الممارسة الحقيقية للفحوصات الشائعة في التصوير بالأشعة ثنائي الأبعاد. تم تقييم جرعات الإشعاع (ESAK) للمرضى خلال فحوصات الصدر، البطن وأشعة الحوض في التصوير الشعاعي التقليدي والتصوير الشعاعي المحسوب (CR) جنبا إلى جنب مع تقييم معايير جودة الصور المنتجة في عشرة أقسام أشعة مختارة بمستشفيات ولاية الخرطوم. تم إجراء التقييم باستخدام المعايير والمبادئ التوجيهية الموصى بها عالمياً من أجل التوصية علي مستويات مرجعية للتشخيص (DRLs) ومعايير لجودة الصور الشعاعية وطنياً. أولاً تمت مراجعة الخلفية التاريخية والتطورات الراهنة في تكنولوجيا التصوير الإشعاعي من الدراسات المنشورة ثم أجريت إختبارات مراقبة الجودة (QC)، وقضايا الإحالة السريرية مع تحليل الصور الشعاعية المفروضة كجزء أساسي من هذه الدراسة.

تم قياس جرعات المرضى وجرى تقييم جودة الصور لما مجموعه 846 مريضاً. حسب جرعات الإشعاع للمرضى من عوامل التعرض باستخدام برنامج (DosCal). وقيست مخرجات أنبوبة الأشعة السينية أنبوب (mGy / MAS)، دقة عوامل التعريض، والقياس الخطي وإعادة الإنتاج باستخدام مقياس الجرعات (Unfors Xi) بينما أجريت قياسات كثافة الصور باستخدام جهاز الكثافة (RMI) ذو الرقم التسلسلي (F2176-211). تم تقييم جودة الصورة باستخدام تقنية التحليل البصري (VGA) وبناء على معايير الأوروبية لجودة الصور في التصوير الشعاعي التشخيصي.

استناداً إلى النتائج التي حصل عليها، كانت نسبة متوسط الصور ذات النوعية الجيدة ٧١,٣ (٥٦ - ٨٦,١) لفحص الصدر خلفي أمامي، ٧٦,١ (٩١-٦٥) للبطن أمامي خلفي و ٧٠,٧ (٣٥,٧ - ٩٢,٦) للحوض أمامي خلفي. هذه النتائج فيما يتعلق بجودة الصورة أظهرت تباينات واسعة بين مختلف المستشفيات والفحوصات مع وعي معتدل للعاملين حول المبادئ التوجيهية. كانت متوسط جرعات المرضى الإشعاعية المقابلة (ESAK) بالملي جراي (٠,٣±٠,٥) و (١,٧±٣,٧) و (١,٦±٣,٦) لهذه الفحوصات علي التوالي. أظهرت قيم الجرعات الإشعاعية لمرضى فحوصات البطن والحوض قيم متوافقة مع المستويات المرجعية للتشخيص عالمياً (DRLs) في حين أظهرت فحوصات الصدر بالأشعة السينية قيم مضاعفة للجرعات مقارنة



بالمستويات المرجعية . هناك العديد من العوامل ساهمت تحديدا في هذه النتائج، تشمل خلل أجهزة الأشعة السينية، بيئة معالجة الصور الغير مثالية ، أخطاء عوامل التعريض والأخطاء المتعلقة بالتواصل مع المرضى.

إن تطبيق برنامج منظم وشامل لمراقبة الجودة بهذه الأقسام بصفة خاصة وبأقسام الأشعة المشابهة بالسودان بصفة عامة مع وضع معايير جودة للصور الشعاعية، جنبا إلى جنب مع مستويات مرجعية للجرعات التشخيصية للفحوصات المختلفة وفقاً لما موصي به عالمياً لأمر بالغ الأهمية للحفاظ على جودة الصورة المطلوبة، مع الحفاظ على الجرعة الإشعاعية للمرضى عند مستوى معقول.

أخيرا فإن التحول من التصوير التقليدي بإستخدام أفلام الأشعة إلي التقنية الرقمية في الأشعة التشخيصية مع تدريب العاملين مطلوبه كجزء أساسي من عملية الأمثلة.

## List of Figures

<b>Figure No.</b>	<b>Title</b>	<b>Page</b>
2.1	The electromagnetic Spectrum	11
2.2	The x-ray Tube	12
2.3	The Cathode Assembly	15
2.4	Typical housing assembly for a general purpose x ray tube	16
2.5	The X-ray Circuit	16
2.6	Photon Energy Spectrum for a Machine Operating at 100 KV	20
2.7	Screen/film radiography	21
2.8	Comparison of conventional screen versus imaging phosphor plate	23
2.9	Image formation In CR	24
2.10	Direct and indirect x-ray conversion in DR	28
2.11	Factors That Affect Radiographic Contrast	31
2.12	Scale and relative measures of contrast	31
2.13	The relationship between OID, SID and image magnification	33
2.14	Effect of blur on Resolution	36
2.15	Linear No threshold model (ICRP 2005)	40
2.16	Optimization cycle in diagnostic radiography	44
2.17	Equipment Life Cycle	46
4.1	Average positive diagnostic responses (%) based on referral data	73
4.2	Overall rejects rates among different hospitals	77
4.3	Reject rate by examination type among the various hospitals	78
4.4	PA chest Compliance Rates with the Image Criteria (EUR16260 EN)	79
4.5	AP Abd. Compliance Rates with the Image Criteria (EUR16260 EN)	80
4.6	AP Pelvis Compliance Rates with the Image Criteria (EUR16260 EN)	80

## List of Tables

<b>Table No.</b>	<b>Title</b>	<b>Page</b>
2.1	The range of receptor sensitivity and speed values used in radiography	22
2.2	The evolution of digital imaging in the Radiology world	25
2.3	Summary comparing properties of CR and DR modalities	27
2.4	Image quality factors and their controlling/influencing factors in FSR	30
2.5	Image quality factors and their controlling/influencing factors in DR.	35
2.6	Examples of the numeric value of EI by different manufacturers	38
2.7	The weighting factor of the various tissues	39
2.8	Rad. equivalent dose and biologic effects of acute whole-body exposure	40
2.9	DRLs for selected radiographic projections of adult patients	41
2.10	DRLs per projection (uGy) for selected projections of standard five-year old paediatric patients	42
2.11	Quality Criteria for PA Chest X-ray	47
2.12	Quality Criteria for AP Abdomen X-ray	48
2.13	Quality Criteria for AP Pelvis X-ray	48
2.14	Summary of Operational Conditions Associated with Optimization	49
2.15	Summary of application aspects associated with optimization and good imaging performance	51
3.1	Machines characteristics	66
3.2	Mean and range values of patient's demographic data (age, height, weight and body mass index (BMI)) for patients undergoing PA Chest x-rays	67
3.3	Technique factors for patients undergoing PA chest, AP Abdomen and pelvis x-ray	68
3.4	PA Chest radiographs diagnostic requirements	71
3.5	AP abdomen radiographs diagnostic requirements	71
3.6	AP pelvis radiographs diagnostic requirements	71
4.1	Request forms data among various hospitals and exams	73
4.2.A	QC checks on x-ray machines outputs compared to Tolerance levels	74
4.2.B	QC checks on x-ray machines collimators compared to Tolerance levels	75
4.3	Image processing problems and their causes across the different hospitals using FSR systems	75
4.4	Mean patients ESAK (mGy)/ effective dose (mSv) during chest/ abdomen& Pelvis x-ray	76
4.5	Comparison of mean ESAK for chest and abdominal and Pelvis radiography in this study with DRLs from other studies	76
4.6	Distribution of rejects rates according to causes among different hospitals	77