ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
242942

ความผิดปกติของโครโมโซมแบบไดเซนทริคในมุกฉากรหน่วยรังสีรักษา และเวชศาสตร์นิวเคลียร์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

สุริยาพร โอไชสง

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาฟิสิกส์การแพทย์

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
มิถุนายน 2554

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
242942

ความผิดปกติของโครโมโซมแบบไดเซนทริคในบุคลากรหน่วยรังสีรักษาและเวชศาสตร์นิวเคลียร์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

สุริยาพร โจไชสง

วิทยานิพนธ์นี้เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัยเพื่อเป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาฟิสิกส์การแพทย์

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
มิถุนายน 2554

ความผิดปกติของโครโมโซมแบบไดเซนทริคในบุคลากรหน่วยรังสีรักษาและเวชศาสตร์นิวเคลียร์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

สุริยาพร โจไธสง

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาฟิสิกส์การแพทย์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
รองศาสตราจารย์ ดร. วิภา บุญกิตติเจริญ

.....กรรมการ
อาจารย์ ดร. นิสา ชวพันธุ์

.....กรรมการ
อาจารย์ ดร. ภัทรินี ไตรสถิตย์

คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
อาจารย์ ดร. นิสา ชวพันธุ์

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
อาจารย์ ดร. ภัทรินี ไตรสถิตย์

10 มิถุนายน 2554

© ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณา และการสนับสนุนอย่างดียิ่งจาก อาจารย์ ดร. นิสา ชวพันธุ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ซึ่งกรุณาให้ความรู้ ความช่วยเหลือ ตลอดจนคำปรึกษาแนะนำ รวมทั้งสอบตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. ภัทรินี ไตรสถิตย์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ แนะนำ ในการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนตรวจสอบ แก้ไข ข้อบกพร่องต่าง ๆ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ อาสาสมัครที่เข้าร่วมในการวิจัยครั้งนี้ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ คุณจิรวัฒนา ศรีกาวิน พยาบาลวิชาชีพ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการเจาะเลือดเพื่อเก็บตัวอย่างในการทำวิทยานิพนธ์ คุณนิพัทธา จันทะมา ที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำในการเพาะเลี้ยงเซลล์ลิมโฟไซต์ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณนักฟิสิกส์การแพทย์ นักรังสีเทคนิค และเจ้าหน้าที่หน่วยอิเล็กทรอนิกส์และซ่อมบำรุง หน่วยรังสีรักษาและมะเร็งวิทยา และหน่วยเวชศาสตร์นิวเคลียร์ ภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณ เพื่อน ๆ พี่ ๆ นักศึกษาปริญญาโท ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และสนับสนุนการวิจัยเป็นอย่างดี

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และพี่ชาย ที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจที่ดีแก่ผู้เขียนตลอดมา

ท้ายที่สุดนี้หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้เขียนต้องขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย และหวังว่าวิทยานิพนธ์นี้คงเป็นประโยชน์ไม่มากก็น้อยแก่ผู้สนใจที่จะศึกษา และนำไปพัฒนาต่อไป

สุริยาพร โจไธสง

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์ ความผิดปกติของโครโมโซมแบบไดเซนทริคในบุคลากรหน่วยรังสีรักษาและเวชศาสตร์นิวเคลียร์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ผู้เขียน นางสาวสุริยาพร โจไธสง

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ฟิสิกส์การแพทย์)

คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

อาจารย์ ดร. นิสา ชวพันธุ์	อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
อาจารย์ ดร. ภัทรินี ไตรสถิตย์	อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

บทคัดย่อ

242942

Biological dosimetry เป็นการประเมินการได้รับรังสีเชิงปริมาณโดยใช้ผลทางชีววิทยาเป็นตัวบ่งชี้ เป็นที่ทราบกันดีว่ารังสีชนิดก่อไอออน สามารถทำให้เกิดความผิดปกติของโครโมโซมขึ้นได้ ทั้งความผิดปกติของโครโมโซมชนิดเสถียรและไม่เสถียร การวิเคราะห์ความผิดปกติของโครโมโซมแบบไดเซนทริคในลิมโฟไซต์ของบุคคลที่ได้รับรังสี เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ตัวบ่งชี้ทางชีววิทยาที่แนะนำโดยทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ ซึ่งวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาความผิดปกติของโครโมโซมแบบไดเซนทริค ในบุคลากรที่ปฏิบัติงานเกี่ยวกับรังสีที่ได้รับรังสีชนิดก่อไอออน ในปริมาณน้อยและได้รับรังสีต่อเนื่องเป็นเวลานาน โดยเก็บข้อมูลจากอาสาสมัครบุคลากรทางรังสี หน่วยรังสีรักษาและมะเร็งวิทยา และหน่วยเวชศาสตร์นิวเคลียร์ ภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ โรงพยาบาลมหาราชนครเชียงใหม่ จำนวน 33 คน และประชาชนทั่วไปที่ไม่มีประวัติการทำงานเกี่ยวกับรังสีจำนวน 17 คน ทำการแยกลิมโฟไซต์ออกจากเลือด แล้วนำเซลล์ลิมโฟไซต์ไปเพาะเลี้ยงในตู้เพาะเลี้ยงเซลล์ที่มีสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเซลล์ เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ทำการคัดเลือกเซลล์ที่อยู่ในระยะเมทาเฟสจำนวน 300 เซลล์ต่อคน เพื่อศึกษาความผิดปกติของโครโมโซม ผลการศึกษาความเสี่ยงของการเกิดความผิดปกติของโครโมโซมชนิดไดเซนทริค พบว่า เมื่อเปรียบเทียบกับประชาชนทั่วไปที่ไม่ได้

242942

ปฏิบัติงานเกี่ยวกับรังสี บุคลากรที่ปฏิบัติงานเกี่ยวกับรังสีมีโอกาสเสี่ยง 4.2 เท่า (95% Confidence Interval (95%CI), 1.2-14.6) บุคลากรที่ปฏิบัติงานเกี่ยวกับรังสีเป็นระยะเวลามากกว่า 10 ปี มีโอกาสเสี่ยง 4.4 เท่า (95%CI, 1.3-14.8) บุคลากรที่ปฏิบัติงานเกี่ยวกับรังสีที่มีปริมาณรังสีสะสมต่อปี (Hp0.07) มากกว่า 200 μSv มีโอกาสเสี่ยง 14.1 เท่า (95%CI, 1.7-120.0) และบุคลากรที่ปฏิบัติงานเกี่ยวกับรังสีที่มีปริมาณรังสีสะสมต่อปี (Hp10) มากกว่า 30 μSv มีโอกาสเสี่ยง 6.7 เท่า (95%CI, 1.3-34.4) แต่พบว่า เพศ อายุ การสูบบุหรี่ การดื่มเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ การใช้ยาปฏิชีวนะ และการตรวจสุขภาพโดยการใช้รังสีในการเอกซเรย์ปอด ไม่มีผลต่อความเสี่ยงของการเกิดความผิดปกติของโครโมโซมชนิดไดเซนทริคอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p=0.41), (p=0.35), (p=0.30), (p=0.24), (p=0.11) และ (p=0.08) ตามลำดับ ดังนั้น บุคลากรในโรงพยาบาลที่ปฏิบัติงานในพื้นที่รังสีควรจะปฏิบัติงานด้วยความระมัดระวัง ตระหนักในอันตรายของรังสี และยึดหลักการป้องกันอันตรายจากรังสี

Thesis Title Dicentric Chromosomal Aberration in the Therapeutic Radiology and Nuclear Medicine Division Personnel, Faculty of Medicine, Chiang Mai University

Author Miss. Suriyaporn Jothaisong

Degree Master of Science (Medical Physics)

Thesis Advisory Committee

Lecturer Dr. Nisa Chawapun	Advisor
Lecturer Dr. Patrinee Traisathit	Co-advisor

Abstract

242942

Biological dosimetry is a quantification of exposure to ionizing radiation by means of biological indicators. Ionizing radiation is a well known classical mutagen capable of inducing various kinds of stable and unstable chromosomal alterations. The analysis of chromosomal aberrations in the lymphocytes of individual exposed to ionizing radiation is one of the most reliable biological indicators of radiation risk. Dicentric chromosome aberration assay was suggested by IAEA for the detection and dose assessment of human radiation exposure. The aim of this study was to investigate whether occupational exposure induced chromosomal damage in hospital worker exposed to low levels of ionizing radiation. Thirty-three radiation workers from the therapeutic radiology and nuclear medicine division, Faculty of Medicine, Chiang Mai University and seventeen volunteer individuals who did not have the history of occupational exposure were enrolled in the study. After lymphocytes separation by using Isoprep™, the cultures were incubated in the optimum condition for 48 hours. 300 metaphase chromosomes were scored in each individual for the incidence of dicentric chromosome aberrations. The results showed that comparing to non-radiation worker groups, the risk of dicentric chromosome

aberration observed in radiation worker groups was 4.2 times higher (95% Confidence Interval (95%CI), 1.2-14.6). Duration of exposure longer than 10 years increased risk of dicentric chromosome aberration 4.4 times (95%CI, 1.3-14.8). Annual exposure dose more than 200 μSv(Hp0.07) or 30 μSv(Hp10) induced 14.1 times(95%CI, 1.7-120.0) and 6.7 times(95%CI, 1.3-34.4) risk of dicentric chromosome aberration, respectively. Gender, age, smoking, alcohol consumption, anti-biotic drugs and chest x-ray were not the significant predictors for dicentric chromosome aberrations (p=0.41), (p=0.35), (p=0.30), (p=0.24), (p=0.11) and (p=0.08) respectively. Never the less, the results pointed out that the hospital personnel who work in radiation area should perform their duty with awareness, concern and strictly follow the radiation protection procedures.

สารบาญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบาญตาราง	ฎ
สารบาญภาพ	ฏ
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ฑ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาที่นำไปสู่งานวิจัย	1
1.2 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง	3
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	5
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	5
1.5 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย	5
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐาน	9
2.1 ลิมโฟไซต์	9
2.2 โครโมโซมและโครงสร้างของโครโมโซม	9
2.2.1. Metacentric chromosome	11
2.2.2. Submetacentric chromosome	11
2.2.3. Acrocentric chromosome	11
2.2.4. Telocentric chromosome	11
2.3 การแบ่งตัวของเซลล์และวัฏจักรของเซลล์	12
2.3.1 ระยะ G1 (Gap 1)	13
2.3.2 ระยะ S (DNA synthesis)	13
2.3.3 ระยะ G2 (Gap 2)	13
2.3.4 ระยะ M (Mitosis)	13
2.4 ผลของรังสีต่อ ดีเอ็นเอ	14
2.4.1 Base & Sugar damage	15

สารบาญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.2 Strand breakage	15
2.4.3 Cross-linking	15
2.5 ความผิดปกติของโครโมโซม	16
2.5.1 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโครโมโซม	16
2.5.2 การเปลี่ยนแปลงจำนวนของโครโมโซม	19
2.5.3 ความผิดปกติแบบโครโมโซม	19
2.5.4 ความผิดปกติแบบโครมาทิด	22
2.6 วิธีการศึกษาความผิดปกติของโครโมโซม	22
2.6.1 Dicentric assay	23
2.6.2 Micronucleus assay	23
2.6.3 Translocation assay	23
2.6.4 Fluorescence in situ hybridization (FISH)	23
2.6.5 Premature chromosome condensation analysis (PCC)	24
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	25
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์	25
3.2 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย	29
3.2.1 ศึกษาข้อมูลของบุคลากรทางรังสีและประชากรกลุ่มควบคุม	29
3.2.2 การเก็บตัวอย่างเลือดและการเพาะเลี้ยงเซลล์เม็ดเลือดขาว	32
3.2.3 การเก็บเกี่ยวเซลล์	33
3.2.4 การย้อมสีตัวอย่างเซลล์	34
3.2.5 การตรวจนับโครโมโซมและตรวจสอบความผิกปกติของโครโมโซม	34
3.2.6 การบันทึกภาพ	34
3.3 สถิติที่ใช้ในการวิจัย	35
บทที่ 4 ผลการวิจัย	36
4.1 ผลการทดสอบหาจำนวนเมทาเฟสเซลล์ที่เหมาะสม	36
4.2 ข้อมูลบุคลากรทางรังสีและประชาชนทั่วไป	37
4.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างที่ทำการศึกษา	40

สารบาญ (ต่อ)

	หน้า
4.4 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยเสี่ยงของการเกิดความผิดปกติของโครโมโซมชนิดไดเซนทริค	41
บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผลการศึกษา และข้อเสนอแนะ	47
5.1 สรุปผลการศึกษา	47
5.2 อภิปรายผลการศึกษา	48
5.3 เสนอแนะ	53
เอกสารอ้างอิง	55
ภาคผนวก	59
ภาคผนวก ก การเตรียมสารละลาย	60
ภาคผนวก ข เอกสารประกอบการเก็บข้อมูลอาสาสมัครที่เข้าร่วมในการวิจัย	62
ภาคผนวก ค ภาพตัวอย่างโครโมโซมที่ทำการศึกษาด้วยวิธีการ Dicentric assay	68
ภาคผนวก ง ผลงานวิชาการ	70
ประวัติผู้เขียน	72

สารบาญตาราง

ตาราง	หน้า
4.1 ความถี่ของการเกิดความผิดปกติของโครโมโซมชนิดไดเซนทริค	35
4.2 ข้อมูลบุคลากรทางรังสีในหน่วยรังสีรักษาและเวชศาสตร์นิวเคลียร์	37
4.3 ข้อมูลเบื้องต้นของประชาชนทั่วไป	39
4.4 ลักษณะทั่วไปของกลุ่มประชากรที่ทำการศึกษา	40
4.5 อัตราการเกิดความผิดปกติของโครโมโซมชนิดไดเซนทริคและ Odds ratio สำหรับปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดความผิดปกติของโครโมโซมชนิดไดเซนทริค	42
4.6 การวิเคราะห์หลายตัวแปรที่แสดงให้เห็นว่าบุคลากรที่ปฏิบัติงานเกี่ยวกับรังสีเป็นปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดความผิดปกติของโครโมโซมชนิดไดเซนทริค	44
4.7 การวิเคราะห์หลายตัวแปรที่แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาในการปฏิบัติงานทางรังสี ≥ 10 ปี เป็นปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดความผิดปกติของโครโมโซมชนิดไดเซนทริค	45
4.8 การวิเคราะห์หลายตัวแปรที่แสดงให้เห็นว่าปริมาณรังสีสะสมต่อปี Hp 0.07 ≥ 200 μSv/yr เป็นปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดความผิดปกติของโครโมโซมชนิดไดเซนทริค	45
4.9 การวิเคราะห์หลายตัวแปรที่แสดงให้เห็นว่าปริมาณรังสีสะสมต่อปี Hp10 ≥ 30 μSv/yr เป็นปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดความผิดปกติของโครโมโซมชนิดไดเซนทริค	46
5.1 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความผิดปกติของโครโมโซมชนิดไดเซนทริคกับงานวิจัยอื่น	50
5.2 เปรียบเทียบปริมาณรังสีจากการศึกษานี้กับ Dose limit ที่กำหนดโดย ICRP	51

สารบาญภาพ

รูป	หน้า
2.1 โครโมโซม ประกอบด้วย 2 โครมาทิด	10
2.2 การแบ่งโครโมโซมเป็น 4 แบบ ตามตำแหน่งของเซนโทรเมียร์	10
2.3 รูปร่างของโครโมโซม V shape, J shape, i shape และ I shape	11
2.4 วัฏจักรเซลล์	12
2.5 ผลของรังสีที่เกิดขึ้นกับโมเลกุลของ ดีเอ็นเอ	16
2.6 การขาดหายไปของโครโมโซม	17
2.7 การเพิ่มขึ้นบางส่วนของโครโมโซม	18
2.8 โครโมโซมวงแหวน	20
2.9 Paracentric inversion และ Pericentric inversion	20
2.10 Reciprocal translocation	21
2.11 โครโมโซมสองเซนโทรเมียร์	21
2.12 ไมโครนิวเคลียส	23
3.1 เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge รุ่น 5702, Germany)	26
3.2 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Shaking water bath รุ่น 1086, Germany)	27
3.3 เครื่องผสมสารละลาย (BIOSAN รุ่น Combi-Spin)	27
3.4 ตู้ปฏิบัติการปลอดเชื้อ (Bioair instrument รุ่น s@feflow 1.2, Italy)	27
3.5 ตู้เพาะเลี้ยงเซลล์ (Sunyo, Japan)	28
3.6 ขวดพลาสติกสำหรับเลี้ยงเซลล์ (Integra Biosciences, USA)	28
3.7 กล้องจุลทรรศน์ (Olympus รุ่น CX-31, Japan)	29
3.8 ชุดรับภาพและถ่ายภาพ (DSLR Canon EOS 500D, Japan)	29
ข – 1 เอกสารรับรองโครงการวิจัยในมนุษย์	67
ค – 1 Dicentric assay แสดง 1 เซลล์ มี 46 โครโมโซม ถ่ายโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ Olympus รุ่น CX-31 กำลังขยาย 40 เท่า	68
ค – 2 Dicentric assay แสดง ความผิดปกติของโครโมโซมชนิด dicentric และ acentric fragment ถ่ายโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ Olympus รุ่น CX-31 กำลังขยาย 40 เท่า	69

สารบาญภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
ง – 1 บทคัดย่อผลงานวิชาการ งานประชุมสมาคมฟิสิกส์การแพทย์ ประจำปี 2554	71

อักษรย่อและสัญลักษณ์

DNA	Deoxyribonucleic acid
FISH	Fluorescence in situ hybridization เป็นวิธีการที่ใช้ในการตรวจสอบความผิดปกติของโครโมโซม
g	times gravity คือหน่วยของความเร็วในการ centrifuge
Hp 0.07	คือ ปริมาณรังสีที่ความลึก 0.07 มิลลิเมตร จากผิว แทนปริมาณรังสีที่ผิวหนัง dose limit ไม่เกิน 500 mSv/yr
Hp 10	คือ ปริมาณรังสีที่ความลึก 10 มิลลิเมตร จากผิว แทนปริมาณรังสีทั่วลำตัว dose limit ไม่เกิน 500 mSv/yr สำหรับ มือและเท้า (Equivalent dose) และ ไม่เกิน 20 mSv/yr โดยเฉลี่ยช่วงเวลา 5 ปี ติดต่อกัน ทั้งนี้ในแต่ละปีจะได้รับรังสีได้ไม่เกิน 50 mSv/yr สำหรับ ทั้งร่างกาย (Effective dose)
IAEA	International Atomic Energy Agency หมายถึง ทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ
ICRU	International Commission and Radiation Units and Measurements คือ องค์กรสากลที่รับผิดชอบเกี่ยวกับปริมาณและหน่วยที่ใช้ในการวัดรังสี
LET	Linear energy transfer หมายถึง การสูญเสียหรือการถ่ายโอนพลังงานของรังสีขณะผ่านตัวกลาง ต่อหน่วยระยะทาง
M	Molar เป็นหน่วยที่บอกความเข้มข้นของสารละลายโดยหมายถึง จำนวนโมลของตัวถูกละลายในสารละลาย 1 ลิตร (mol/l)
mSv	milli Severt คือ หน่วยวัดปริมาณรังสีสมมูล (Equivalent dose) และ ปริมาณรังสียังผล (Effective dose)
PCC	Premature chromosome condensation analysis
RNA	Ribonucleic acid
rpm	Revolution per minute คือ อัตราความเร็วรอบในการหมุน หน่วยเป็น รอบ/นาที
μSv	micro Sievert คือ หน่วยวัดปริมาณรังสีสมมูล (Equivalent dose) และ ปริมาณรังสียังผล (Effective dose)