

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาที่นำไปสู่งานวิจัย

เนื่องจากรังสีเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดความผิดปกติของโครโมโซม บุคลากรทางรังสี ซึ่งมีโอกาสรับรังสีจากการปฏิบัติงานจึงเป็นกลุ่มเสี่ยงของการเกิดความผิดปกติของโครโมโซม

ความผิดปกติของโครโมโซมชนิดไดเซนทริก (dicentric) อยู่บนพื้นฐานของหลักการ รังสีทำให้สาย ดีเอ็นเอ (DNA) ถูกทำลาย โดยเฉพาะการเกิด double strand breaks ในการซ่อมแซมความผิดปกติของสาย ดีเอ็นเอ บน 2 โครโมโซม อาจเกิดความผิดพลาดในการซ่อมแซมความผิดปกติทำให้โครโมโซมมาเชื่อมต่อกันเป็นโครโมโซมที่มีสองเซนโทรเมียร์ เรียกโครโมโซมที่เกิดขึ้นใหม่นี้ว่า ไดเซนทริกโครโมโซม (dicentric chromosome) (1)

สาเหตุของการเกิดความผิดปกติของโครโมโซมแบ่งออกได้เป็น 2 สาเหตุใหญ่ ๆ คือ ตัวกระทำ (agents) ต่าง ๆ และ การแบ่งตัวของเซลล์ (cell division)

1. ตัวกระทำ หมายถึง สารหรือพลังงาน ที่ปล่อยออกมาจากแหล่งต่าง ๆ กัน

ปัจจัยทางเคมี (Chemical agents) สารเคมีจำนวนมาก เช่น สารจากโรงงานอุตสาหกรรม จำพวก cadmium หรือ ยาบางชนิด เช่น adriamycin, mitomycin c เป็นต้น

ปัจจัยทางชีวภาพ (Biological agents) ได้แก่ ไวรัส หรือ แบคทีเรีย บางชนิด เช่น HIV เป็นต้น

ปัจจัยทางกายภาพ (Physical agents) ได้แก่ พลังงาน เช่น รังสี

รังสีที่มีพลังงานสูงเมื่อกระทำต่อสิ่งมีชีวิต จะทำให้เกิดผลทางชีววิทยาต่าง ๆ คือ เมื่ออนุมูลอิสระที่เกิดจากโมเลกุลของน้ำในสิ่งมีชีวิตแตกตัวเมื่อได้รับรังสี จับตัวกับโมเลกุลในเซลล์ โดยเฉพาะดีเอ็นเอซึ่งเป็นส่วนสำคัญ อาจทำให้เซลล์เกิดการกลายพันธุ์หรือตายได้ การเปลี่ยนแปลงในระยะนี้เกิดได้สองทาง คือ

1) Direct action คือ รังสีกระทำโดยตรงกับโมเลกุลที่สำคัญในเซลล์ ทำให้รูปร่างและหน้าที่ของเซลล์เสียไป

2) Indirect action คือ รังสีกระทำโดยทางอ้อม โดยทำปฏิกิริยากับส่วนประกอบอื่นก่อน เช่น น้ำ แล้วจึงไปจับกับโมเลกุลที่สำคัญในเซลล์ มีผลทำให้เกิดความเสียหายกับเซลล์

ความเสียหายดังกล่าวถ้าเซลล์ไม่มีการซ่อมแซมหรือมีการซ่อมแซมที่ผิดพลาด แล้วไม่สามารถทำหน้าที่ได้ตามปกติ ในที่สุดอาจเกิดการตายของเซลล์ ถ้ามีขบวนการซ่อมแซมที่ดีก็สามารถกลับเป็นเซลล์ปกติได้ (2)

2. การแบ่งตัวของเซลล์

การแบ่งตัวของเซลล์เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้จำนวนโครโมโซมของเซลล์ลูก (daughter cell) ผิดไปจากเซลล์ต้นกำเนิด (original cell) จากการศึกษาในไมโอซิส พบว่าในขบวนการแบ่งตัวในโพรเฟส (prophase) จะมีระยะหนึ่งซึ่งโครโมโซมจะมาจับคู่กัน (pair) แล้วแยก (disjunction) ออกจากกัน โดยเค็ดขาดถ้าระยะนี้การแยกของโครโมโซมไม่สมบูรณ์ (non disjunction) จะทำให้เซลล์ลูกได้รับโครโมโซมไปไม่เท่ากัน เซลล์หนึ่งจะได้มากอีกเซลล์หนึ่งจะได้น้อย อีกเหตุการณ์หนึ่งที่เกิดจากการแบ่งตัวของเซลล์คือ โครโมโซมบางตัวหายไป (chromosome loss) ในระหว่างระยะแอนาเฟส (anaphase) เรียกว่า anaphase lag อาจเคลื่อนที่ช้าไม่ทันกลุ่มทำให้เกิดมีเยื่อหุ้มนิวเคลียสขึ้นมาก่อนหรือเคลื่อนที่ไปที่อื่น ดังนั้นเซลล์ลูกจะมีโครโมโซมขาดไป 1 โครโมโซม

เนื่องจากในปัจจุบันนี้ความเจริญก้าวหน้าทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีได้เข้ามามีบทบาทต่อชีวิตประจำวันและต่อการพัฒนาประเทศทุก ๆ ด้าน แต่สิ่งที่ไม่ควรมองข้ามคือ ความรู้ความเข้าใจที่ถูกต้องเกี่ยวกับเทคโนโลยีอย่างแท้จริง การนำเอาเทคโนโลยีมาใช้โดยขาดการควบคุมดูแลให้ถูกต้องและเหมาะสม เป็นผลให้เกิดอันตรายได้ เช่นเดียวกับการนำเอารังสีมาใช้ เพราะรังสีมีประโยชน์มากมาย แต่โทษที่เกิดจากการนำรังสีมาใช้ก็มีมากและหลายระดับขึ้นอยู่กับปริมาณ ชนิด และระยะเวลาที่ได้รับรังสี ผลของรังสีที่มีต่อร่างกายแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

1) ผลที่เกิดกับร่างกาย (somatic effect) หมายถึง ผลที่เกิดขึ้นกับส่วนใดส่วนหนึ่งของร่างกาย ขึ้นอยู่กับการรับรังสีว่าได้รับรังสีแบบเฉียบพลันหรือแบบต่อเนื่อง และปริมาณรังสีมากน้อยเพียงใด การได้รับรังสีแบบเฉียบพลันอาจได้รับจากการเกิดอุบัติเหตุทางรังสี ส่วนการรับรังสีแบบต่อเนื่องในปริมาณต่ำ ๆ เกิดกับผู้ที่มิอาชีพเกี่ยวกับรังสีโดยตรงซึ่งอาจมีผลให้อายุสั้นกว่าปกติ เป็นมะเร็ง ต้อกระจก เป็นต้น

2) ผลที่เกิดขึ้นทางพันธุกรรม (genetic effect) หมายถึง ผลที่เกิดขึ้นในเซลล์สืบพันธุ์ อาจทำให้เป็นหมันหรือเกิดการกลายพันธุ์ (mutation) ซึ่งมีผลกระทบต่อถึงรุ่นลูกหลานได้ ผลที่เกิดกับร่างกาย (somatic effect) ไม่เกี่ยวข้องกับเซลล์สืบพันธุ์ จึงไม่มีการถ่ายทอดไปสู่รุ่นลูกหลาน แต่ก็มีความสำคัญเนื่องจากเซลล์ร่างกายมนุษย์ส่วนใหญ่เกิดจากการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส และตลอดเวลาที่มีการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส ย่อมมีโอกาสเกิดการกลายในเซลล์ร่างกายระดับยีนหรือระดับโครโมโซมได้ ถ้าการกลายเกิดขึ้นกับยีนด้อยบนโครโมโซมร่างกายมักไม่แสดงออกให้เห็น แต่ถ้าการกลายเกิดขึ้นกับยีนเด่นจะแสดงออกให้เห็นในร่างกายของคน ๆ นั้น

การกลายของเซลล์ร่างกายชนิดหนึ่งซึ่งเกิดจากการกลายของยีนบางยีนซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการแบ่งเซลล์ทำให้ไม่สามารถควบคุมการแบ่งเซลล์หรือการเจริญเติบโตได้ เซลล์จึงเพิ่มจำนวนมากผิดปกติจนกลายเป็นเนื้องอก (3)

เนื่องจากรังสีเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดความผิดปกติของโครโมโซมดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาความผิดปกติของโครโมโซมในลิมโฟไซต์ (lymphocyte) ของบุคลากรทางรังสีในภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ โรงพยาบาลมหาสารคามขอนแก่น เพื่อประเมินความเสี่ยงของบุคลากรที่ทำงานเกี่ยวกับรังสี

1.2 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

เทคนิคทางชีวภาพในการประเมินปริมาณรังสีที่สิ่งมีชีวิตได้รับ โดยอาศัยข้อมูลจากโครโมโซมหรือเซลล์ของสิ่งมีชีวิต มีการนำมาใช้อย่างแพร่หลายในกรณีเกิดอุบัติเหตุทางรังสีหรือการได้รับรังสีปริมาณน้อยติดต่อกันเป็นเวลานาน นอกเหนือจากการประเมินปริมาณรังสีในสิ่งมีชีวิตได้ด้วยเครื่องมือวัดทางรังสี เทคนิคทางชีวภาพในการประเมินปริมาณรังสีที่สิ่งมีชีวิตได้รับมีหลายเทคนิค ได้แก่ Dicentric assay, Micronucleus assay, Translocation assay, Fluorescence in situ hybridization และ Premature chromosome condensation analysis เป็นต้น

การเลือกใช้เทคนิคในการตรวจวัดปริมาณรังสีที่สิ่งมีชีวิตได้รับจะเลือกตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา สำหรับกรณีเกิดอุบัติเหตุทางรังสีหรือการได้รับรังสีปริมาณน้อยติดต่อกันเป็นเวลานาน IAEA ได้เสนอวิธี Dicentric assay เนื่องจากเป็นวิธีการหนึ่งที่มีประสิทธิภาพ มีความเฉพาะต่อการรับรังสีและมีขั้นตอนในการวิจัยที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน (4)

Mozdarani H. และคณะ (5) ได้ทำการศึกษาความผิดปกติของโครโมโซมในลิมโฟไซต์ในเจ้าหน้าที่ที่ปฏิบัติงานในหน่วยเวชศาสตร์นิวเคลียร์จำนวน 51 คน อายุเฉลี่ย 31.1 ± 6.5 ปี และกลุ่มควบคุมจำนวน 15 คน อายุเฉลี่ย 33.2 ± 8.8 ปี ได้ทำการคัดเลือกเซลล์ที่อยู่ในระยะเมทาเฟสจำนวน 100 เซลล์ ต่อคน เพื่อนำมาวิเคราะห์ความผิดปกติของโครโมโซม สำหรับปริมาณรังสีที่เจ้าหน้าที่ได้รับซึ่งวัดโดยการใช้ Thermo luminescent dosimeter (TLD) และฟิล์มวัดรังสีประจำบุคคล อยู่ในช่วง 0.03-2.80 mSv การวิเคราะห์ความผิดปกติของโครโมโซมพบว่า ความถี่ในการเกิดความผิดปกติของโครโมโซมทุกประเภท (gaps, breaks และ dicentrics) ในเจ้าหน้าที่ที่ปฏิบัติงานในหน่วยเวชศาสตร์นิวเคลียร์ มีค่าสูงกว่าที่พบในกลุ่มควบคุม ($p < 0.0001$) และพบว่า ความผิดปกติของโครโมโซมกับปริมาณรังสีมีความสัมพันธ์กันเป็นแบบเชิงเส้น กล่าวคือ เมื่อได้รับรังสีในปริมาณน้อยจะทำให้เกิดความผิดปกติของโครโมโซมน้อยและเมื่อได้รับปริมาณรังสีเพิ่มขึ้นก็จะทำให้เกิดความผิดปกติของโครโมโซมเพิ่มขึ้น

Movafagh A. และคณะ (6) ได้ทำการศึกษาความผิดปกติของโครโมโซมในลิมโฟไซต์ในเจ้าหน้าที่ที่ปฏิบัติงานในหน่วยงานรังสีรักษาในประเทศอิหร่าน เนื่องจากมีรายงานว่า การได้รับรังสีเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดความผิดปกติของโครโมโซม ในการศึกษานี้ได้ทำการศึกษาโดยเก็บข้อมูลจากเจ้าหน้าที่ที่ปฏิบัติงานในหน่วยงานรังสีรักษาจำนวน 50 คน เป็นผู้ชาย 27 คน ผู้หญิง 23 คน ในช่วงอายุเฉลี่ย 34.72 ± 10.60 ปี มีอายุเฉลี่ยในการปฏิบัติงาน 12 ปี และเก็บข้อมูลจากกลุ่มควบคุมจำนวน 43 คน เป็นผู้ชาย 24 คน ผู้หญิง 19 คน ในช่วงอายุเฉลี่ย 33.79 ± 11.05 ปี และได้ทำการคัดเลือกเซลล์ที่อยู่ในระยะเมทาเฟสจำนวน 80 เซลล์ ต่อคนเพื่อใช้ในการศึกษา ผลการศึกษาพบความผิดปกติของโครโมโซม ได้แก่ dicentric, acentric fragments และ rings พบความถี่ในความผิดปกติของโครโมโซมในกลุ่มเจ้าหน้าที่ที่ปฏิบัติงานในหน่วยงานรังสีรักษามีความผิดปกติสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p=0.041$) และพบว่าค่าเฉลี่ยความถี่ของความผิดปกติของโครโมโซมในการคัดเลือกเซลล์ที่อยู่ในระยะเมทาเฟสจำนวน 80 เซลล์ ในกลุ่มเจ้าหน้าที่ที่เป็นผู้หญิง (3.50 ± 1.42) สูงกว่าเจ้าหน้าที่ที่เป็นผู้ชาย (3.28 ± 0.95) เล็กน้อย อย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p=0.74$)

Kasuba V. และคณะ (7) ได้ทำการศึกษาความผิดปกติของโครโมโซมในลิมโฟไซต์ในเจ้าหน้าที่โรงพยาบาลในประเทศโคลเอเชีย โดยเฉพาะบุคลากรทางการแพทย์เป็นกลุ่มอาชีพที่เสี่ยงในการสัมผัสกับสารเคมีที่แตกต่างกันซึ่งสงสัยว่าเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความผิดปกติของโครโมโซม โดยทำการศึกษาจากเจ้าหน้าที่โรงพยาบาล 765 คน และเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมจำนวน 200 คน จากการศึกษาพบความผิดปกติของโครโมโซมในกลุ่มทดลองเพิ่มขึ้นในทุกชนิด ความผิดปกติของโครโมโซม โดยพบ acentric fragments มีความถี่มากที่สุด พบความถี่ในการเกิดความผิดปกติของโครโมโซมชนิดไคเซนทริกสูงในแพทย์โรคไต และสูตินรีแพทย์ ($p=0.0001$) เนื่องจากต้องปฏิบัติงานเกี่ยวกับรังสีและสารเคมีที่ทำให้เกิดความเสียหายต่อยีน และยังพบว่า อายุและการสูบบุหรี่มีอิทธิพลต่อการเกิดไคเซนทริกโครโมโซมอย่างมีนัยสำคัญ ($P_{age} < 0.0001$), ($P_{smoking\ index} = 0.0133$)

Zakeri F. และคณะ (8) ได้ทำการศึกษาผลของการได้รับรังสีชนิดก่อก่อไอออน ในปริมาณน้อยและได้รับปริมาณรังสีต่อเนื่องเป็นเวลานาน ในเจ้าหน้าที่ที่ปฏิบัติงานเกี่ยวกับรังสี โดยมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาเพื่อประเมินความเสี่ยงในการทำงานของบุคลากรทางรังสี ทำการศึกษาใน แพทย์เฉพาะทางโรคหัวใจ (interventional cardiology) 32 คน แพทย์ในหน่วยงานเวชศาสตร์นิวเคลียร์ 36 คน รังสีแพทย์ทั่วไป 33 คน และกลุ่มควบคุม 35 คน ผลการศึกษาพบว่า เจ้าหน้าที่ทุกกลุ่มมีความถี่ในการเกิดความผิดปกติของโครโมโซมชนิดไคเซนทริก และ acentric สูงกว่ากลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$) และพบความถี่ในการเกิด micronucleus สูงกว่ากลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.01$) ในกลุ่มแพทย์เฉพาะทางโรคหัวใจ มีความถี่ในการเกิดความผิดปกติของ

โครโมโซมสูงสุด การศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า การได้รับรังสีชนิดก่อก่อไอออนในปริมาณน้อย และได้รับปริมาณรังสีต่อเนื่องเป็นเวลานานจะทำให้เกิดความเสียหายต่อดีเอ็นเอ

การประเมินความเสี่ยงและการตรวจสอบสุขภาพของเจ้าหน้าที่ที่ปฏิบัติงานเกี่ยวกับรังสีเป็นระยะ มีความจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อให้ความมั่นใจในการทำงานว่ามีความปลอดภัย ผู้วิจัยจึงศึกษาความผิดปกติของโครโมโซมเพื่อเป็นแนวทางในการนำไปใช้ในการประเมินความเสี่ยงในการทำงานทางด้านรังสีและหาความสัมพันธ์ของความผิดปกติของโครโมโซมในลิมโฟไซต์กับประวัติการรับรังสีในเจ้าหน้าที่ที่ปฏิบัติงานทางรังสี โดยเลือกใช้วิธีการ Dicentric assay ซึ่งแนะนำโดย ทบวงการพลังงานปรมาณูระหว่างประเทศ (International Atomic Energy Agency, IAEA)

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.3.1 เพื่อศึกษาความผิดปกติของโครโมโซมในลิมโฟไซต์ โดยใช้วิธีการ Dicentric assay

1.3.2 เพื่อหาความสัมพันธ์ของความผิดปกติของโครโมโซมในลิมโฟไซต์กับประวัติการรับรังสีของบุคลากรใน ภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ โรงพยาบาลมหาสารคามนครเชียงใหม่ โดยใช้วิธีการ Dicentric assay

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1.4.1 ทราบความเสี่ยงของบุคลากรที่ปฏิบัติงานเกี่ยวกับรังสี เพื่อใช้เป็นแนวทางในการวางแผนป้องกันอันตรายจากรังสี

1.4.2 สามารถนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาไปเป็นแนวทางในการประยุกต์หาความผิดปกติของโครโมโซมที่มาจากสาเหตุอื่น ๆ ได้

1.5 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิจัยเพื่อหาความผิดปกติของโครโมโซมในลิมโฟไซต์ของอาสาสมัครที่เป็นบุคลากรทางรังสีในหน่วยงานรังสีรักษาและเวชศาสตร์นิวเคลียร์ ภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ โรงพยาบาลมหาสารคามนครเชียงใหม่ และประชาชนทั่วไป โดยออกแบบการทดลองดังนี้

คำนวณขนาดของตัวอย่าง จากสมการที่ (1)

$$N = \frac{2[(Z_\alpha + Z_\beta)\sigma]^2}{(\mu_c - \mu_t)^2} \quad (1)$$

เมื่อ

Z_{α} = ค่า Z ที่ได้จากรางแจกแจงปกติมาตรฐานเมื่อกำหนดขนาดของ type I error เท่ากับ

1.96

Z_{β} = ค่า Z ที่ได้จากรางแจกแจงปกติมาตรฐานเมื่อกำหนดขนาดของ type II error เท่ากับ

1.28

σ^2 = ความแปรปรวนของข้อมูล โดยประมาณว่าความแปรปรวนของข้อมูลจากตัวอย่าง

แต่ละกลุ่มมีค่าเท่ากันหมด (assumed to be the same for all sample in both treatment group :

$\sigma_c^2 = \sigma_t^2$) ซึ่งค่า σ^2 สามารถประมาณได้จากกลุ่มตัวอย่างคือใช้ S^2 (ความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่าง) แทนหรือจากการศึกษานำร่อง (pilot study) หรือจากงานวิจัยเก่า ๆ ที่เคยมีผู้ระบุไว้ เท่ากับ

1.03

μ_c = ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในกลุ่มประชากรกลุ่มควบคุม อาจประมาณได้จากค่าเฉลี่ยของประชากรกลุ่มตัวอย่าง เท่ากับ 2 โครโมโซม

μ_t = ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในกลุ่มประชากรกลุ่มตัวอย่าง เท่ากับ 3.4 โครโมโซม
จากสมการที่ 1 คำนวณขนาดตัวอย่างได้อย่างน้อย 12 คน

ในขั้นตอนการศึกษาประกอบด้วย

- ศึกษาเครื่องมือ วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย
- ศึกษาข้อมูลการได้รับรังสี ปัจจัยเสี่ยง ของบุคลากรทางรังสีและประชาชนทั่วไป
- เจาะเลือดจากอาสาสมัครที่สมัครใจเข้าร่วมในโครงการวิจัย
- แยกเซลล์ลิมโฟไซต์
- เพาะเลี้ยงเซลล์ลิมโฟไซต์
- เก็บเกี่ยวเซลล์ลิมโฟไซต์
- ย้อมสีตัวอย่างเซลล์
- ทดสอบหาจำนวนเมทาเฟสเซลล์ที่เหมาะสม
- ตรวจสอบความผิดปกติของ โครโมโซม
- วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ศึกษาข้อมูลของบุคลากรทางรังสีและประชาชนทั่วไป

1) บุคลากรทางรังสีในหน่วยรังสีรักษาและเวชศาสตร์นิวเคลียร์ที่สมัครใจเข้าร่วมโครงการวิจัย โดยมี inclusion และ exclusion criteria ดังนี้

Inclusion criteria

- เป็นบุคลากรของหน่วยรังสีรักษาและเวชศาสตร์นิวเคลียร์ที่มีโอกาสได้รับรังสีในการปฏิบัติงาน
- มีข้อมูลปริมาณรังสีที่ได้รับ
- ไม่เคยได้รับการตรวจพิเศษทางรังสี เช่น เอกซเรย์คอมพิวเตอร์ ฟลูออโรสโคปี (fluoroscopy) หรือการรักษาด้วยรังสี

Exclusion criteria

- เป็นบุคลากรของหน่วยรังสีรักษาและเวชศาสตร์นิวเคลียร์ที่ไม่มีโอกาสได้รับรังสีในการปฏิบัติงาน
- ไม่มีข้อมูลปริมาณรังสีที่ได้รับ
- เคยได้รับการตรวจพิเศษทางรังสี เช่น เอกซเรย์คอมพิวเตอร์ ฟลูออโรสโคปี หรือการรักษาด้วยรังสี

2) ประชากรกลุ่มควบคุมได้มาจากประชาชนทั่วไปที่สมัครใจเข้าร่วมเป็นอาสาสมัครในการวิจัย โดยมี inclusion และ exclusion criteria ดังนี้

Inclusion criteria

- ประชาชนทั่วไปที่ไม่เคยปฏิบัติงานเกี่ยวกับรังสี
- ไม่เคยได้รับการตรวจพิเศษทางรังสี เช่น เอกซเรย์คอมพิวเตอร์ ฟลูออโรสโคปี หรือการรักษาด้วยรังสี

Exclusion criteria

- ประชาชนทั่วไปที่เคยปฏิบัติงานเกี่ยวกับรังสี
- เคยได้รับการตรวจพิเศษทางรังสี เช่น เอกซเรย์คอมพิวเตอร์ ฟลูออโรสโคปี หรือการรักษาด้วยรังสี

ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา

- 1) อายุ
- 2) เพศ
- 3) ระยะเวลาในการปฏิบัติงาน (ปี)

- 4) ประวัติ การสูบบุหรี่
- 5) ประวัติการดื่มเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์
- 6) การใช้ยาปฏิชีวนะ (antibiotic drugs) หรือสารเคมีที่อาจมีผลต่อดีเอ็นเอ
- 7) ตรวจสอบสุขภาพโดยการใช้อำนาจรังสีในการเอกซเรย์ปอด
- 8) ปริมาณรังสีสะสมต่อปี โดยที่มาของข้อมูลมาจากกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข จำแนกได้เป็น
 - Hp0.07 ($\mu\text{Sv}/\text{yr}$) คือ ปริมาณรังสีที่ความลึก 0.07 มิลลิเมตร จากผิว แทนปริมาณรังสีที่ผิวหนัง
 - Hp10 ($\mu\text{Sv}/\text{yr}$) คือ ปริมาณรังสีที่ความลึก 10 มิลลิเมตร จากผิว แทนปริมาณรังสีที่ลำตัว (ICRU No. 47)

วิธีการทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดความผิดปกติของโครโมโซมชนิดไคเซนทริก ได้แก่ วิธีการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก