บทที่ 6

สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ

วิจารณ์

ผลจากบทที่ 3 แสดงถึงปริมาณรังสีที่วัดได้ลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อระยะการวัดเพิ่มขึ้น ในการวินิจฉัยลิ่มเลือดสังเกตจากการเปลี่ยนแปลงจำนวนนับที่ได้ ซึ่งขึ้นกับปริมาณรังสีที่ไหลผ่านบริเวณนั้น เนื่องจากหลอดเลือดดำระบบตื้นอยู่ใต้ผิวหนัง เทียบได้กับระยะห่าง 1 เซนติเมตรจากหัววัด ถ้าปริมาณรังสีที่วัดได้ ณ ระดับผิวหนังเป็น 100% จากกราฟรูปที่ 3.2 ส่วนปริมาณรังสีที่ระยะห่างออกไป 3–4 เซนติเมตรวัดได้เฉลี่ยประมาณ 13% สำหรับไอโอดีน–125 และประมาณ 22% สำหรับไอโอดีน–131 ปริมาณรังสีที่วัดได้เป็นผลรวมของจำนวนนับเนื่องจากสารกัมมันตรังสีที่ไหลผ่านหลอดเลือดดำระบบตื้น และระบบลึก การเกิดลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำระบบลึก ทำให้จำนวนนับเปลี่ยนแปลงไป แต่การเปลี่ยนแปลงนี้มีเพียงเล็กน้อยอยู่ในช่วงของความคลาดเคลื่อนทางสถิติ(Statistical error) จึงยากที่จะระบุถึงการเปลี่ยนแปลงให้แน่นอนได้ เพื่องายต่อการเข้าใจ พิจารณาตัวอย่างดังต่อไปนี้.–

สมมติให้จำนวนนับที่ได้เนื่องจากสารกัมมันตรังสีในหลอดเลือดดำระบบตื้น มีค่า 100 จำนวนนับต่อวินาที และให้ปริมาณเลือดที่ไหลผ่านหลอดเลือดดำระบบตื้นเท่ากับ ระบบลึก ฉะนั้นปริมาณรังสีที่วัดได้จากหลอดเลือดดำระบบลึกควรมีค่าประมาณ 13 จำนวนนับต่อวินาทีสำหรับไอโอดีน–125 และประมาณ 22 จำนวนนับต่อวินาทีสำหรับไอโอดีน–131 เปรียบเทียบปริมาณรังสีที่วัดได้ของสารกัมมันตรังสี 2 ชนิดนี้ ในกรณีต่าง ๆ ดังนี้.–

ตารางที่ 6.1 ตารางเปรียบเทียบสมมติ

ประเภทของบุคคล	(จำนวนนับ/วินาที)ที่ควรจะได้โดยประมาณ	
	ไอโอดีน–125	ไอโอดีน–131
1. คนปกติ	113	122
2. มีลิ่มเลือดอุดตันก่อนฉีด สมมติว่า		
หลอดเลือดถูกอุดตัน 50% *	106	111
อุดตันเต็มหลอดเลือด	100	100
3. มีลิ่มเลือดอุดตันภายหลังฉีด สมมติว่า		
หลอดเลือดถูกอุดตัน 50 %	119	133
อุดตันเต็มหลอดเลือด	126	144

ค่าความคลาดเคลื่อนทางสถิติของการวัดปริมาณรังสี มีค่าเท่ากับรากที่สองของจำนวนนับที่ได้ กรณีนี้ค่าความคลาดเคลื่อนของการวัดในขอบเขต 1 ความเบี่ยงเบนมาตรฐานในคนปกติมีค่าประมาณ 11 จำนวนนับต่อวินาที หมายความว่า ปริมาณรังสีที่วัดได้ในคนปกติจะอยู่ในช่วง 102 – 124 จำนวนนับต่อวินาทีสำหรับไอโอดีน–125 และอยู่ในช่วง 111 – 133 จำนวนนับต่อวินาทีสำหรับไอโอดีน–131 จะเห็นได้ว่าในกรณีที่มีลิ่มเลือดอุดตันบางส่วนของหลอดเลือดดำระบบลึกไม่ว่าจะเป็นการเกิดก่อนหรือหลังการฉีด จำนวนนับที่ได้ส่วนมากอยู่ในช่วงของความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือ ทำให้เกิดความผิดพลาดในการระบุผล ว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงในหลอดเลือดดำระบบลึกหรือไม่

กราฟรูปที่ 3.3–3.4 แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงความแรงของสารกัมมันตรังสี ณ จุดห่าง 3 – 4 เซนติเมตร จากจุดแรกสำหรับไอโอดีน–131 อาจสังเกตได้จากการเปลี่ยนแปลงของจำนวนนับ แต่ไม่แน่นอนนัก ส่วนไอโอดีน–125นั้น จะสังเกตไม่ได้เลย เนื่องจากกราฟเกือบจะเป็นเส้นแนวนอน

---

* พิจารณารูป 3.9 ก, ข ประกอบ

จากตารางตัวอย่างที่ยกมาพิจารณา และกราฟรูปที่ 3.3 อาจกล่าวได้ว่า การเปลี่ยนแปลงปริมาณสารกัมมันตรังสีในหลอดเลือดดำระบบลึกเกือบไม่มีผลต่อปริมาณรังสีที่วัดได้สำหรับไอโอดีน–125 ส่วนไอโอดีน–131 นั้น อาจมีผลต่อปริมาณรังสีที่วัดได้บ้างแต่ไม่มากนัก ทั้งนี้ควรสังเกตว่า กรณีที่ยกมาอ้างทั้ง 2 กรณี เป็นการทดลองในหุ่นจำลอง หากสารกัมมันตรังสีอยู่ในร่างกายคนจะมีองค์ประกอบอีกมากมาย ที่ทำให้ผลที่ได้คลาดเคลื่อนไป

ผลจากการวัดสารกัมมันตรังสีไอโอดีน–131 ในผู้ป่วย(บทที่ 4) พบว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณรังสีที่วัดได้บริเวณหัวใจต่อเวลา ใกล้เคียงกับอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารกัมมันตรังสีต่อเวลาในเลือด ปริมาตร 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร (ค่าความสัมพันธ์เชิงเส้น $r = 0.95$) ส่วนอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณรังสีที่วัดได้ต่อเวลา บริเวณต้นขาและน่องนั้น มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับปริมาณรังสีที่วัดได้บริเวณหัวใจเช่นกัน แต่ไม่ดีนัก ($r = 0.84$) หมายความว่า ปริมาณรังสีที่วัดได้บริเวณต้นขาและน่อง มีแนวโน้มว่าจะเปลี่ยนแปลงไป เช่นเดียวกับบริเวณหัวใจ หรืออาจกล่าวได้ว่า มีแนวโน้มว่าจะเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับสารกัมมันตรังสีในเลือด การที่ไม่สามารถเปรียบเทียบกันโดยตรงได้ เนื่องจากสารประกอบติดฉลากสารกัมมันตรังสีไอโอดีน–131 ชนิดนี้ มีการขจัดเร็วมาก การเปรียบเทียบโดยตรงต้องเจาะเลือดขณะทำการตรวจวัด ณ จุดนั้น ซึ่งหมายความว่า ต้องเจาะเลือดผู้ป่วย 3 ครั้งเป็นอย่างน้อย ในระยะเวลาประมาณ 7 – 10 นาที ดังนั้นจึงทำการเปรียบเทียบโดยตรง เฉพาะบริเวณหัวใจเท่านั้น

ผลจากการตรวจวัดปริมาณรังสีเนื่องจากไฟบริโนเจนติดฉลากสารกัมมันตรังสีไอโอดีน–125 ในอาสาสมัคร กราฟค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารกัมมันตรังสีในเลือดปริมาตร 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร และการเปลี่ยนแปลงของปริมาณรังสีที่วัดได้ต่อเวลา ณ บริเวณต่าง ๆ ควรจะขนานกัน แต่พบว่า กรณีการตรวจวัดบริเวณหัวใจ ลักษณะกราฟแตกต่างกันไปไม่เป็นเส้นขนาน ทำการตรวจวัด 2 แบบ คือ ใช้คอลลิเมเตอร์ทำด้วยตะกั่วแบบหนึ่ง และคอลลิเมเตอร์ทำด้วยอลูมิเนียมอีกแบบหนึ่ง ความแตกต่างของความชันระหว่าง

กราฟเส้นตรงที่เหมาะสมที่สุดสำหรับ อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารกัมมันตรังสีในร่างกาย และปริมาณรังสีที่วัดได้บริเวณหัวใจจะแสดงว่า เส้นตรงทั้งสองเส้นนี้ขนานกันหรือไม่ ค่าความแตกต่างของความชั้นสำหรับข้อมูลจากการศึกษาแสดงไว้ในตาราง 6.2

ตารางที่ 6.2 ผลทางสถิติแสดงกวาทสัมพันธ์ระหว่างกราฟอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณรังสีที่วัดได้ต่อเวลาในเลือก กับ บริเวณหัวใจเมื่อใช้คอลลิเมเตอร์ตะกั่ว และอลูมิเนียม

อาสาสมัครหมายเลข	ข้อมูลจาก	t	P^1
6	Pb	2.7805	0.014
	Al	1.444	0.18
7	Pb	2.1113	0.085
	Al	1.9139	0.088
8	Al	2.8369	0
	Pb	1.9601	0.081
9	Pb	1.6197	0.14
	Al	0.325	0.75
10	Pb	0.0458	.9*
	Al	0.9075	0.39
11	Pb	0.2382	0.89
	Al	0.3582	0.77
12	Pb	3.1385	0.01
	Al	2.7899	0.013

1. P หมายถึงโอกาสที่เส้นตรงทั้งสองจะไม่ขนานกัน

* กราฟเป็นเส้นโค้ง

ส่วนในรายที่กราฟปริมาณรังสีที่วัดได้บริเวณหัวใจ ทำการตรวจวัดโดยใช้คอลลิเมเตอร์ทำด้วยตะกั่ว มีลักษณะเป็นเส้นโค้งมี 2 ราย ทั้งสองรายนี้อาสาสมัครเป็นคนรูปร่างเล็กบางอาจทำให้จำนวนนับที่วัดได้แตกต่างจากบุคคลอื่น เนื่องจากหัวใจอยู่ใกล้กับหัววัดมากกว่าและส่วนประกอบอื่นๆ เช่น เนื้อบริเวณนั้นน้อยกว่า นอกจากนี้อาจมีสาเหตุจากความคลาดเคลื่อนในการวัด(**geometry**) ซึ่งไม่อาจทำการตรวจวัดในลักษณะเดิมทุกประการในทุกวันได้ ส่วนกรณีที่กราฟปริมาณรังสีบริเวณหัวใจ เมื่อใช้คอลลิเมเตอร์ทำด้วยอลูมิเนียม เป็นเส้นโค้งมี 1 รายนั้น อาจจะเนื่องจากความคลาดเคลื่อนในการวัด

ผลทางสถิติจากตารางที่ 6.2 บ่งชี้ว่าผลการตรวจวัดเมื่อใช้คอลลิเมเตอร์อลูมิเนียมมีแนวโน้มว่า ปริมาณรังสีที่วัดได้จะลดลงเร็วกว่า และผลการวัดที่ได้ใกล้เคียงความจริงน้อยกว่าเมื่อใช้คอลลิเมเตอร์ตะกั่ว แม้ว่ากรณีหลังจะมีปัญหาในการตรวจวัดบุคคลที่มีรูปร่างผอมบางอยู่บ้างก็ตาม ขณะเดียวกันผลการศึกษามีความผิดพลาดในการใช้คอลลิเมเตอร์อลูมิเนียมตรวจวัด 1 ราย ซึ่งรูปร่างค่อนข้างสูงใหญ่

ปริมาณเลือดที่บริเวณหัวใจมีมาก(หัวใจทำหน้าที่คล้าย **blood pool**) กระดูกซี่โครงอยู่ระหว่างหัวใจและผิวหนัง มีลักษณะโค้งหุ้มหัวใจ และมีหลอดเลือดฝอยมาหล่อเลี้ยงมากมาย เมื่อมีสารกัมมันตรังสีปะปนอยู่ในเลือด รังสีที่แผ่ออกมาในทุกทิศทางเมื่อกระทบกระดูกบางส่วน เกิดการกระเจิง(**scatter**)กลับมา จำนวนหนึ่งมีทิศทางเข้าสู่หัววัด แม้ว่าอนุภาคโฟตอนที่ย้อนกลับมาจะมีพลังงานลดลง แต่เครื่องมือก็รับสัญญาณบางส่วนเข้าไปด้วย เนื่องจากช่วงกว้างพลังงาน(**window width**)สำหรับไอโอดีน–125 กว้างมากเมื่อเทียบกับพลังงานเฉลี่ย(ประมาณ 50 % ของพลังงานเฉลี่ย) ในการวัดปริมาณรังสีเนื่องจากสารกัมมันตรังสีไอโอดีน–125 จะมีการกระเจิงและ **back ground** เกี่ยวข้องด้วยเสมอ ดังนั้น จำนวนนับที่วัดได้จริงจึงมีค่าสูง และในบางครั้งสูงกว่าความเป็นจริง(จากผลการตรวจวัดอาสาสมัครหมายเลข 8) เมื่อจำนวนนับสูงขึ้น ค่าความคลาดเคลื่อนทางสถิติลดลง การวัดอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณรังสีต่อหน่วยเวลาบริเวณหัวใจ จึงมีค่าใกล้เคียงกับในเลือดมากกว่าการตรวจวัดบริเวณต้นขาและน่อง ส่วนไอโอดีน–131 รังสีแกมมาที่ให้ออกมามีพลัง

งานสูง จึงมีอำนาจในการทะลุทะลวงเนื้อเยื่อมาได้มากกว่าไอโอดีน–125 ประกอบกับช่วงกว้างพลังงานมีค่าไม่มากนัก เมื่อเทียบพลังงานเฉลี่ยซึ่งมีค่าสูงกว่าสัญญาณรบกวนมาก(ดูรูป 3.4 ประกอบ)ปริมาณ **back ground** จึงน้อยลง ขณะที่จำนวนนับที่ได้มีค่ามากกว่าจำนวนนับเนื่องจากไอโอดีน–125 ที่มีความแรง(**Activity**)เท่ากัน ดังนั้นการวัดอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณรังสีที่วัดได้ต่อหน่วยเวลา เมื่อใช้ไอโอดีน–131 จึงควรใกล้เคียงความจริงมากกว่าไอโอดีน–125

ในขณะทำการวิจัย ผู้วิจัยไม่สามารถควบคุมลักษณะการวัดให้เหมือนกันทุกประการทุก ๆ วันได้ เป็นที่น่าสังเกตว่า เมื่อค่าความคลาดเคลื่อนทางสถิติลดลง ความผิดพลาดทาง **geometry** ก็เพิ่มขึ้น หากสามารถหาวิธีการที่ทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนทั้งสองประการนี้น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นได้พร้อมกัน ผลการวิจัยใดๆ ย่อมใกล้เคียงความจริงมากขึ้นกว่าในปัจจุบัน

ส่วนกราฟปริมาณรังสีที่วัดได้เมื่อฉีดไฟบริโนเจนติดฉลากสารกัมมันตรังสีไอโอดีน–125 บริเวณต้นขาและน่อง มีลักษณะขึ้นลงไม่แน่นอนไม่อาจประมาณเป็นเส้นตรงได้ และบางกรณีในระยะเวลาวันหลัง ๆ วัดค่าปริมาณรังสีไม่ได้เลย เนื่องจากความเบี่ยงเบนของเครื่องมือสูง(**Fluctuation**) ดังนั้นการวินิจฉัยลิ่มเลือดโดยสังเกตจากกราฟการเปลี่ยนแปลงปริมาณรังสีที่วัดได้บริเวณต้นขาและน่องเปรียบเทียบกับปริมาณรังสีที่วัดได้บริเวณหัวใจ(คิดเป็นเปอร์เซ็นต์) จึงมีปัญหามาก ด้วยการเปลี่ยนแปลงปริมาณรังสีที่วัดได้บริเวณหัวใจมีลักษณะเป็นเส้นตรง และลดลงเมื่อเวลาผ่านไป ส่วนบริเวณต้นขาและน่องมีค่าขึ้นลงไม่แน่นอน ค่าของการเปรียบเทียบจึงขึ้นลงไม่แน่นอนตามไปด้วย ดังกราฟรูปที่ 5.14ก หากจำนวนนับที่ได้บริเวณหัวใจมีค่าลดลง ขณะที่จำนวนนับบริเวณต้นขามีค่าสูงขึ้น ความคลาดเคลื่อนจะมีเพิ่มมากขึ้น อันอาจทำให้การวินิจฉัยผิดพลาดได้ การพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงปริมาณรังสีที่วัดได้บริเวณต้นขาและน่องโดยตรง ไม่อาจให้ความแน่นอนในการวิเคราะห์ได้เช่นกัน เพราะไม่มีรูปแบบที่แน่นอน และความเบี่ยงเบนของเครื่องมือ(**fluctuation**)สูง กราฟรูปที่ 5.13 เปรียบเทียบถึงรูปแบบของกราฟที่ใช้วินิจฉัย

ว่าเป็นลิ่มเลือดกับผลการตรวจอาสาสมัครซึ่งเป็นคนปกติ มีความคล้ายคลึงกันไม่น้อยแม้บางรูปที่ไม่คล้ายคลึงกับกราฟที่วิเคราะห์ ว่าเป็นลิ่มเลือด ก็ไม่เป็นไปตามรูปแบบปกติ(normal pattern)ที่กำหนดไว้ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในขณะทำการวัด ลักษณะการวางหัววัดบนผิวหนังผู้ป่วยในแต่ละวันไม่ได้อยู่ในลักษณะเดิมทุกประการ ค่าความคลาดเคลื่อนจึงแตกต่างกันไป

สรุปการวิจัย

ผลการวิจัยสรุปโดยย่อได้ดังนี้.-

1. เมื่อสารกัมมันตรังสีอยู่ภายนอกร่างกาย ปริมาณรังสีที่วัดได้จากสารกัมมันต-รังสีไอโอดีน-131 มีค่าสูงกว่าไอโอดีน-125 ประมาณ 2 เท่า ทั้งหุ่นจำลองและเมื่ออากาศเป็นตัวกลาง

2. จุดกำเนิดรังสี 2 จุด จุดแรกอยู่ห่างจากหัววัด 1 เซนติเมตร จุดที่ 2 อยู่ห่างจากจุดแรก 3 และ 4 เซนติเมตร อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณรังสีที่วัดได้ต่อเวลาเมื่อปริมาณสารกัมมันตรังสี ณ จุดที่ 2 เปลี่ยนแปลงไป เมื่อสารกัมมันตรังสีเป็นไอโอดีน-131 สามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงได้ดีกว่าเมื่อใช้ไอโอดีน-125

3. ปริมาณรังสีที่ร่างกายได้รับจากการฉีดไฟบริโนเจนติดฉลากสารกัมมันตรังสีไอโอดีน-131 มากกว่าไอโอดีน-125 ประมาณ 2.5 เท่า เมื่อปริมาณที่ฉีดเข้าสู่ร่างกายเท่ากัน หากใช้สารกัมมันตรังสีมีความแรง 100 ไมโครคูรี ปริมาณรังสีที่ร่างกายได้รับจากไอโอดีน-131 และไอโอดีน-125 อยู่ในขีดความปลอดภัย

4. เมื่อฉีดไฟบริโนเจนติดฉลากด้วยสารกัมมันตรังสีไอโอดีน-125 หรือสารติดฉลากไอโอดีน-131 การตรวจวัดโดยใช้คอลลิเมเตอร์ตะกั่ว อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณรังสีต่อเวลาที่วัดได้บริเวณหัวใจ ให้ผลใกล้เคียงกับที่วัดได้จากเลือดปริมาตร 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร มากกว่าใช้คอลลิเมเตอร์อลูมิเนียมในการตรวจวัด

5. อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณรังสีต่อเวลาที่วัดได้บริเวณต้นขาและน่อง เมื่อฉีดไฟบริโนเจนติดฉลากสารกัมมันตรังสีไอโอดีน-125 ขนาด 100 ไมโครคูรี มีค่าขึ้นลง

ไม่แน่นอน และบางครั้งในวันที่ 6 หรือ 7 นั้น ตรวจวัดไม่ได้เลย จุดต่าง ๆ บนขาที่ทำการตรวจวัดภายหลังการฉีดสาร 1, 3 และ 7 วัน มีลักษณะขึ้นลงไม่แน่นอน ทำให้อาจมีการคลาดเคลื่อนในการวินิจฉัยภาวะการเกิดลิ่มเลือดดำระบบลึก

6. สารติดฉลากไอโอดีน–131 วัดโดยใช้คอลลิเมเตอร์ตะกั่ว ผลการตรวจวัดอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณรังสีที่วัดได้ต่อเวลา บริเวณหัวใจ ต้นขา น่อง และเลือด มีความสัมพันธ์ต่อเนื่องกัน

ข้อเสนอแนะ

จากข้อมูลที่ทำการศึกษาบ่งว่า การใช้ไฟบริโนเจนติดฉลากสารกัมมันตรังสีไอโอดีนนั้น หากติดฉลากด้วยไอโอดีน–131 น่าจะให้ผลการตรวจวัดและวินิจฉัยลิ่มเลือดได้ดีกว่าไอโอดีน–125 เนื่องจากปริมาณรังสีที่วัดได้จากสารกัมมันตรังสีไอโอดีน–131 มีค่าสูงกว่าไอโอดีน–125 มาก เมื่อมีความแรง **Activity** เท่ากัน ทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนทางสถิติที่วัดได้น้อยลง

การเปรียบเทียบไฟบริโนเจนติดฉลากสารกัมมันตรังสีทั้ง 2 ชนิดนี้โดยตรงกระทำไม่ได้ ด้วยไฟบริโนเจนติดฉลากสารกัมมันตรังสีไอโอดีน–131 นั้น ต้องเตรียมขึ้นเอง ซึ่งผู้วิจัยไม่มีความชำนาญพอ

เทคนิคการตรวจวัดควรใช้คอลลิเมเตอร์ตะกั่ว จะให้ผลใกล้เคียงความเป็นจริงมากกว่าคอลลิเมเตอร์อลูมิเนียม แม้ว่าจะมีปัญหาเรื่องน้ำหนักของตะกั่วอยู่บ้าง และหากมีการศึกษาถึงวิธีการที่ทำให้ความคลาดเคลื่อนทางด้านสถิติและ **geometry** น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นได้พร้อมกัน จะก่อให้เกิดประโยชน์อย่างมากมาย.