

การทำ Scintigraphy ของปอด

เพ็ญศรี เนื่องลีขาเพ็ชร

ภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

Scintigraphy of the lungs

Pensri Nuengsigkapan

Department of Radiology, Faculty of Medicine, Khon Kaen University

Scintigraphy of the lungs is a unique method using radionuclides that provides quantitative regional information on pulmonary ventilation, perfusion volume and gas diffusion. The principle use of pulmonary scintigraphy is for the assessment of regional lung function and diagnosis of other disorders.

การทำ Scintigraphy ของปอดเป็นวิธีการตรวจแบบพิเศษโดยใช้สารกัมมันตรังสีซึ่งจะบอกถึงรายละเอียดต่าง ๆ เกี่ยวกับการระบายอากาศ การกำซาบของเลือด ปริมาณและการกระจายของก๊าซในปอด ซึ่งเป็นประโยชน์ในการตรวจการทำงานของปอด และตรวจความผิดปกติเกี่ยวกับโรคต่าง ๆ

บทนำ

ปอดทำหน้าที่แลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และออกซิเจนเพื่อให้ร่างกายนำเอาก๊าซออกซิเจนไปใช้ในขบวนการเผาผลาญ (Metabolism) ได้มีการศึกษาการทำงานของปอดโดย

ใช้สารกัมมันตรังสีเริ่มตั้งแต่ประมาณ 30 กว่าปีก่อนโดยใช้ ^{133}Xe ศึกษาการระบายอากาศในปอด (Pulmonary Ventilation) หลังจากนั้นต่อมาก็มีการนำสารกัมมันตรังสีตัวอื่นมาศึกษาการทำงานของปอดอย่างแพร่หลายจนกระทั่งปัจจุบันนี้ การทำ Scintigraphy ของปอดเป็นวิธีการตรวจแบบพิเศษโดยใช้สารกัมมันตรังสีซึ่งจะบอกถึงรายละเอียดต่าง ๆ เกี่ยวกับการระบายอากาศในปอด (Pulmonary ventilation) ปริมาณและการกระจายของก๊าซ (Volume and gas diffusion) และการกำซาบของเลือด (Pulmonary perfusion)

วัตถุและวิธีการ

1. การศึกษาการระบายอากาศในปอด

(Pulmonary ventilation study)

สามารถศึกษาด้วยเครื่อง Scintiscamera โดยใช้สารกัมมันตรังสีในรูปของก๊าซ (Radioactive gases) ดังตารางที่ 1 โดยให้ผู้ป่วยสูดหายใจเอา ก๊าซนั้นเข้าไปในขณะที่เครื่อง Scintiscamera จับภาพที่ปอดเอาไว้

^{133}Xe ใช้กันมากในการตรวจการระบายอากาศในปอด Xenon เป็นก๊าซเฉื่อย (Inert gas) ซึ่งละลายได้น้อยในของเหลวในร่างกายแต่ละลายได้ในไขมันเป็น 8 เท่าของการละลายในเลือด⁽²⁾ มีระยะเวลาครึ่งชีวิตทางกายภาพ (Physical half-life) 5.3 วัน สลายตัวให้ Caesium ซึ่งไม่ใช่สารกัมมันตรังสี พลังงานที่ได้จากการสลายตัวของ ^{133}Xe เป็นพลังงานของรังสีแกมมา 80 กิโล-

อิเล็กตรอนโวลท์ (KeV) และพลังงานของรังสีเบต้า 346 กิโลอิเล็กตรอนโวลท์ แต่การดูดซับรังสีเบต้าสู่นเนื้อเยื่อจะเข้าได้ไม่ถึง 1 มิลลิเมตร

ในการตรวจจะนำ ^{133}Xe มาผสมกับอากาศหรือก๊าซออกซิเจนแล้วให้ผู้ป่วยหายใจเข้า ซึ่งการตรวจมีหลายวิธีตามตารางที่ 2 จะต้องมีภาชนะสำหรับเก็บก๊าซที่จะให้ผู้ป่วยสูดหายใจและเก็บก๊าซที่จะออกมาที่ลมหายใจออกซึ่งเป็นระบบปิด (Closed System) เพื่อป้องกันการเปื้อนเปื้อน (Contamination) ของสารกัมมันตรังสีสู่ภายนอก

เมื่อผู้ป่วยหายใจเข้า ^{133}Xe จะกระจายตัวไปในปอดอย่างสม่ำเสมอ (Uniform) จนเข้าสู่สภาวะสมดุลย์ (Equilibrium) แต่ผู้ป่วยที่มีการตีบตันของทางเดินหายใจจะทำให้ ^{133}Xe กระจายไปไม่ถึงสภาวะสมดุลย์

ตารางที่ 1 สารกัมมันตภาพรังสีในรูปของก๊าซ ที่ใช้ในการศึกษาการระบายอากาศในปอด⁽¹⁾

สาร	ขนาดที่ใช้	ระยะเวลาครึ่งชีวิต	พลังงานรังสีแกมมา กิโลอิเล็กตรอนโวลท์ (KeV)	ปริมาณรังสี (มิลลิเรด mrad) ที่ถูกดูดซับต่อมิลลิกรัม
^{81m}Kr	10 มิลลิกรัม	13 วินาที	190	9
^{13}N	5 มิลลิกรัม	10 นาที	511	11
^{15}O	5 มิลลิกรัม	2 นาที	511	14
^{127}Xe	0.5-1 มิลลิกรัม (อาจใช้ถึง 10 มิลลิกรัม ถ้าศึกษาโดยวิธีหายใจ ครั้งเดียว Single-breath study)	36.4 วัน	172 203 375	100
^{133}Xe	1 มิลลิกรัม สำหรับ การศึกษาโดยวิธี หายใจซ้ำ Rebreathing และอาจถึง 30 มิลลิกรัม ถ้าศึกษาโดยวิธีหายใจ ครั้งเดียว Single-breath	5.3 วัน	80	300
^{135}Xe	0.2 มิลลิกรัม	9.1 ชั่วโมง	250	250

ตารางที่ 2 วิธีการตรวจการระบายอากาศในปอดโดยใช้ ^{133}Xe

1. หายใจเข้าครั้งเดียวจนถึงปริมาตรความจุทั้งหมดของปอด (Total lung capacity) แล้วถ่ายภาพในระยะต่าง ๆ ของการ Washout
2. หายใจเข้าครั้งเดียวจนถึงปริมาตรความจุทั้งหมดของปอดแล้วหายใจซ้ำโดยผ่านเครื่อง Spirometer จนถึงสภาวะสมดุลย์ (Equilibrium) แล้วถ่ายภาพที่ปริมาตรความจุทั้งหมดของปอดในระยะต่าง ๆ ของการ Washout
3. เริ่มถ่ายภาพตั้งแต่ Washin จนกระทั่งสมดุลย์ (Equilibrium) และจนตลอดถึง Washout
4. หายใจเข้าครั้งเดียวจนถึงปริมาตรความจุทั้งหมดของปอดแล้วฉีด ^{133}Xe in Saline เข้าทางหลอดเลือดดำถ่ายภาพในระยะต่าง ๆ ของการ Washout หรือจะหายใจซ้ำโดยผ่านเครื่อง Spirometer จนถึงสภาวะสมดุลย์แล้วถ่ายภาพในระยะต่าง ๆ ของการ Washout
5. หายใจ ^{133}Xe เข้าในปริมาณน้อย ๆ (Bolus inhalation techniques) โดยปรับอัตราของอากาศที่ไหลผ่านในอัตราต่างกัน หรือหายใจเข้าในปริมาตรความจุของปอดที่ต่างกัน แล้วศึกษาการกระจายของก๊าซที่ปริมาตรความจุทั้งหมดของปอด

โดยปกติธรรมดาทั่วไป ^{133}Xe ละลายได้น้อยมาก แต่ภายใต้ความดันที่เหมาะสมจะสามารถกระจายตัวในของเหลว เช่น น้ำเกลือ ในรูปของ ^{133}Xe in Saline เมื่อนำออกสู่อากาศธรรมดา ^{133}Xe จะแยกตัวออกมาจากของเหลวอย่างรวดเร็ว

เมื่อฉีด ^{133}Xe in Saline เข้าทางหลอดเลือดดำ จะไปยังหัวใจด้านขวาแล้วเข้าสู่เส้นเลือดที่ปอดและไปยังเส้นเลือดฝอย (Capillary) ที่ถุงลมปอด (Alveoli) จะแยกตัวออกมาทันทีแล้วเข้าสู่อากาศในถุงลมปอด (Alveolar air) การออกจากปอดจะขึ้นกับการระบายอากาศในถุงลมปอด (Alveolar Ventilation) การกระจายตัวของ ^{133}Xe หลังจากฉีดจะขึ้นกับการไหลเวียนของเส้นเลือดฝอย (Capillary blood flow) สำหรับในบริเวณที่เป็นปอดแฟบ (Atelectasis) หรือปอดบวม (Pneumonia) จะไม่ปรากฏการไหลเวียน

ดังนั้นการใช้ ^{133}Xe in Saline ในการตรวจจึงให้รายละเอียดทั้งการระบายอากาศในปอดและการกำซาบของเลือดอีกด้วย การฉีด ^{133}Xe in

Saline มีข้อควรระวังคือ ต้องฉีด ^{133}Xe in Saline ในปริมาณน้อย ๆ (Bolus) เข้าหลอดเลือดดำอย่างรวดเร็ว เพื่อให้การกำซาบของเลือดเป็นไปโดยถูกต้อง

$^{81\text{m}}\text{Kr}$ เป็นสารกัมมันตรังสีในรูปของก๊าซที่ได้จาก $^{81}\text{Rb}/^{81\text{m}}\text{Kr}$ Generator (เป็นสารต้นกำเนิดขนาดย่อย) วิธีแยก (Elution) $^{81\text{m}}\text{Kr}$ ออกจาก Generator ต้องใช้ Humidified O_2 ที่อัตรา 1 ลิตร/นาที $^{81\text{m}}\text{Kr}$ มีระยะเวลาครึ่งชีวิต (Physical half-life) 13 วินาที และให้พลังงานรังสีแกมมา 190 กิโลอิเล็กตรอนโวลท์

เนื่องจาก ^{133}Xe มีข้อเสียคือ พลังงานรังสีแกมมาที่ต่ำกว่า $^{81\text{m}}\text{Kr}$ และ ^{133}Xe ยังให้พลังงานรังสีเบต้า และ ^{133}Xe ละลายได้ในไขมัน $^{81\text{m}}\text{Kr}$ จึงมีข้อดีกว่า ^{133}Xe ⁽³⁾ คือภาพที่ได้จะมีรายละเอียด (Spatial resolution) ที่ดีกว่า แต่ $^{81\text{m}}\text{Kr}$ มีข้อเสียคือ วิธีการนำมาใช้ยุ่งยาก นอกจากจะใช้ $^{81\text{m}}\text{Kr}$ ในรูปของก๊าซแล้ว ยังมีการใช้ $^{81\text{m}}\text{Kr}$ in Saline มาใช้ศึกษาการกำซาบของเลือด ⁽⁴⁾

ทั้ง ^{133}Xe และ $^{81\text{m}}\text{Kr}$ สามารถใช้ได้กับ

ผู้ป่วยที่เป็นโรค Pulmonary vascular hypertension Severe pulmonary insufficiency และ Right to Left shunt

ในการศึกษาการระบายอากาศในปอด ยังอาจใช้สารเภสัชรังสีในรูปของละออง (Aerosol) เช่น ^{99m}Tc -DTPA (Diethylene triamine penta acetic acid), ^{99m}Tc -minimicrospheres โดยผ่านสารเหล่านี้เข้าไปยังเครื่อง Nebulizer จะเกิดละอองขนาดประมาณ 0.5 - 1 ไมโครเมตร และต้องทดสอบหาค่าความบริสุทธิ์ทางรังสีเคมี (Radiochemical purity) ของสารเภสัชรังสีที่ผ่านเครื่อง Nebulizer นี้^{(5),(6)} สารเภสัชรังสีในรูปของละอองจะสามารถบอกถึงความผิดปกติใน Parenchyma ของปอดได้ดี⁽⁷⁾

2. การศึกษาการกำซาบของเลือดในปอด (Pulmonary perfusion study)

สามารถศึกษาด้วยเครื่อง Scintiscamera โดยใช้สารเภสัชรังสี (Radiopharmaceuticals) ต่างๆ ดังตารางที่ 3 โดยฉีดเข้าทางหลอดเลือดดำ

^{99m}Tc macroaggregated albumin (^{99m}Tc - MAA)

โดยการนำ Human Serum Albumin ไปทำให้ร้อนและปรับ pH ให้เหมาะสม โดยมี SnCl_2 เป็น Reducing agent จะเกิด macroaggregated albumin แบ่งบรรจุในขวด (Vials) เล็ก ๆ เมื่อจะใช้ก็ค่อยเติม ^{99m}Tc ลงไปใน Vial นั้น ๆ จะเกิดเป็น ^{99m}Tc - MAA

ในการทำ Scintigraphy ของปอดแต่ละครั้งจะใช้ ^{99m}Tc - MAA ประมาณ 200,000 ถึง 500,000 อนุภาคฉีดเข้าทางหลอดเลือดดำ จะไปยังปอดและอุดอยู่ตามหลอดเลือดแดงฝอยชั่วคราว หลังจากนั้นจะถูกย่อยให้อนุภาคเล็กลงเป็น Polypeptides และถูกขับออกจากปอดโดยเซลล์ Reticuloendothelial จากนั้นจะไปสู่ตับและม้าม และถูกกำจัดออกทางท่อน้ำดี

ในผู้ป่วยที่เป็นเด็ก หลอดโลหิตต่าง ๆ ในปอดยังเจริญไม่เต็มที่ จำนวนของถุงลมปอดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในขวบปีแรก และมีขนาด

ตารางที่ 3 สารเภสัชรังสีที่ใช้ในการตรวจการกำซาบของเลือดในปอด⁽¹⁾

สาร	ขนาดที่ใช้	ครึ่งชีวิตทางกายภาพ (Physical half - life)	ครึ่งชีวิตทางชีวภาพ (Biological half - life)	พลังงานรังสีแกมมา กิโลอิเล็กตรอนโวลท์	ขนาดของอนุภาค (ไมโครเมตร)	ปริมาณรังสี (มิลลิเรด) ที่ถูกดูดซับต่อมิลลิกรัม
^{113m}In ferric hydroxide	1-3 มิลลิคูรี	1.7 ชั่วโมง	27 ชั่วโมง	393	5-60	550-750
^{131}I macroaggregated-albumin	250-300 ไมโครคูรี	8 วัน	2-9 ชั่วโมง	364	5-100	$1-6.3 \times 10^3$
^{99m}Tc albumin microspheres	1-3 มิลลิคูรี	6 ชั่วโมง	7 ชั่วโมง	140	20-40	400-600
^{99m}Tc macroaggregated-albumin	1-3 มิลลิคูรี	6 ชั่วโมง	2-9 ชั่วโมง	140	5-100	150
^{99m}Tc ferric hydroxide	2-3 มิลลิคูรี	6 ชั่วโมง	27 ชั่วโมง	140	5-60	150-620
^{133}Xe	5-10 มิลลิคูรี	5.3 วัน	50 วินาที	80		100
^{81m}Kr	10 มิลลิคูรี	13 วินาที	30 วินาที	190		9

ตารางที่ 4 ปริมาณรังสีและจำนวนอนุภาคของ $^{99m}\text{Tc-MAA}$ ที่ใช้ในผู้ป่วย อายุ และน้ำหนักต่าง ๆ⁽²⁾

อายุ (ปี)	เด็กแรกเกิด	1	5	10	15	ผู้ใหญ่
น้ำหนักตัว (กิโลกรัม)	3.5	12.1	20.3	33.5	55.0	70
ปริมาณรังสีที่ฉีดเข้าไป (มิลลิวูรี)	0.2	0.5	1.0	1.5	2.5	3.0
จำนวนอนุภาคที่ได้รับ (X 100)	10-50	50-150	200-300	200-300	200-700	200-700

ใหญ่ถึงระดับของผู้ใหญ่ปกติเมื่ออายุ 8 ขวบ⁽⁴⁾ ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยในผู้ป่วยที่มีอายุน้อย ๆ ในเด็กแรกเกิด (New born) จะใช้ $^{99m}\text{Tc-MAA}$ ไม่เกิน 50,000 อนุภาค และในช่วงขวบปีแรกไม่ควรใช้เกิน 165,000 อนุภาค

ข้อควรระวังในการฉีด $^{99m}\text{Tc-MAA}$ คือห้ามดูดเลือดกลับมาผสมกับสารเภสัชรังสีในกระบอกฉีด เพราะอาจจะทำให้เกิดการแข็งตัวของเลือดได้ และพึงหลีกเลี่ยงการฉีดเลือดที่แข็งตัวแล้ว ดังนั้นการฉีดสารดังกล่าวควรใช้เข็มชนิดผีเสื้อ (Butterfly) ซึ่งมีน้ำเกลือบรรจุอยู่ก่อนฉีดเพื่อช่วยให้การฉีดสะดวกขึ้น

โดยปกติในการตรวจจะให้ผู้ป่วยนอนหงายแล้วฉีด $^{99m}\text{Tc-MAA}$ เข้าทางหลอดเลือดดำ โดยจะแนะนำให้ผู้ป่วยหายใจเข้าลึก ๆ เพื่อเพิ่มการกระจายตัวของอนุภาคในขณะที่ฉีดสารดังกล่าวอย่างช้า ๆ และจะทำการถ่ายภาพเป็นระยะ ๆ หลังจากการฉีดยาทันที ซึ่งจะสามารถศึกษารายละเอียดได้หลายแง่หลายมุม ยกเว้นรายละเอียดเกี่ยวกับการแลกเปลี่ยนก๊าซ (Gas exchange) หรือการ Washout ซึ่งจะต้องใช้สารกัมตรังสีในสภาพก๊าซเท่านั้น

ดังนั้นอาจต้องมีการตรวจทั้งการระบายอากาศ (Ventilation study) และการกำซาบของเลือด (Perfusion study) ประกอบกันไปเพื่อให้ได้ราย

ละเอียดในทุก ๆ ด้านในตัวผู้ป่วยนั้น ๆ

ยังมีการใช้สารเภสัชรังสีตัวอื่น ๆ (ดังตารางที่ 3) ในการทำ Scintigraphy ของปอด เช่น $^{99m}\text{Tc-albumin microspheres}$ แต่เนื่องจากมีรายงานเกี่ยวกับการแพ้สาร ทำให้ $^{99m}\text{Tc-MAA}$ ได้รับความนิยมนมากกว่า⁽⁸⁾

การตรวจการกำซาบของเลือดด้วยสารเภสัชรังสีชนิดที่เป็นอนุภาค (Particles) ห้ามใช้ตรวจในผู้ป่วยที่เป็น Severe pulmonary hypertension และ Right to Left shunt เพราะมีรายงานเกี่ยวกับผู้ป่วยที่เสียชีวิตทันทีหลังตรวจ^{(9),(10)}

นอกเหนือจากการถ่ายภาพการกระจายตัวของสารกัมมันตภาพรังสีในปอดแล้ว การทำ Scintigraphy ของปอดยังนำไปวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitative Analysis) โดยจากภาพของปอดที่ปรากฏบนจอของเครื่อง เราจะกำหนดบริเวณที่เราสนใจ (Region of interest) บนปอดแล้วบันทึกปริมาณรังสีที่นับได้เป็นอัตราการนับ (Count rate) ในระยะเวลาต่าง ๆ และจากโปรแกรมของเครื่องคอมพิวเตอร์จะได้กราฟของจุดต่าง ๆ ที่เราต้องการ นำมาคำนวณลักษณะของการกระจายตัวของสารกัมมันตรังสีในปอดพรรณของการระบายอากาศ (Ventilation index) พรรณของการกำซาบของเลือด (Perfusion index) ได้ดังสูตร

$$\text{Ventilation index} = \frac{V}{E} \times \frac{B}{A} \times 100$$

$$\text{Perfusion index} = \frac{I}{E} \times \frac{B}{J} \times 100$$

-
- V = ค่าอัตราการนับรังสีหลังจากสูด ^{133}Xe เข้าไปแบบหายใจครั้งเดียว
- E = ค่าอัตราการนับรังสีที่สภาวะสมดุลย์
- B = ความเข้มข้นของ ^{133}Xe ในเครื่อง Spirometer X ปริมาตรของปอดในเวลานั้น ๆ
- A = ความเข้มข้นของ ^{133}Xe ในเครื่อง Spirometer X ปริมาตรของอากาศที่หายใจเข้าไป
- I = ค่าอัตราการนับรังสีระหว่างการหายใจแบบครั้งเดียวหลังจากฉีด ^{133}Xe เข้าทางหลอดเลือดดำ
- J = ปริมาณของ ^{133}Xe ที่ฉีดเข้าไป

บทสรุป

การทำ Scintigraphy ของปอดทำให้ทราบถึงสภาพการทำงานของปอด และนำไปใช้ในการตรวจวินิจฉัยผู้ป่วยที่เป็นโรคต่าง ๆ เช่น Pulmonary emboli⁽¹¹⁾, Pulmonary artery agenesis, Pulmonary valve stenosis, pulmonary sequestration, congenital lobar emphysema, acute or chronic bronchial occlusion, asthma, pneumonia, cystic fibrosis, Congenital heart diseases, Cardiomegaly and oedema⁽¹²⁾, Lymphangitis carcinomatosa⁽¹³⁾ เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

1. Secker-Walker RH. Respiratory Diseases. In: Maisey MN, Britton KE, Gilday DL, eds. Clinical Nuclear Medicine. London: Chapman and Hall, 1983: 41-81.
2. Treves ST, Harris GBC. Lung. In: Treves ST, ed. Pediatric Nuclear Medicine. New York: Springer-Verlag, 1985: 289-330.
3. Fazio F., Jones T. Assessment of regional ventilation by continuous inhalation of radioactive krypton-81m. Br Med J 1975; 3: 673-6.
4. Secker-Walker RH. The Respiratory System. In: Harbert J, Rocha AFG eds. Textbook of Nuclear Medicine, 2nd ed. Philadelphia: Lea & Febiger, 1984: 311-79.
5. Lippmann M., Albert ME. The effect of particle size on the regional deposition of inhaled aerosols in the human respiratory tract. Am Ind Hyg Assoc J 1969; 30: 257-75.
6. Waldman DL, Weber DA, Oberdorster G, et al. Chemical breakdown of Technetium-99m DTPA During Nebulization. J Nucl Med 1987; 28: 378-82.
7. Ramanna L, Alderson PO, Waxman AD, et al. Regional Comparison of Technetium-99m DTPA Aerosol and Radioactive Gas Ventilation (Xenon and Krypton) Studies in Patients with Suspected Pulmonary embolism. J Nucl Med 1986; 27: 1391-6.
8. Freiman LM, Blanfox MD., eds. Physician Desk Reference for radiology and Nuclear Medicine. Oradell, NJ: Medical Economics, 1979: 106.
9. Vincent WR, Goldberg SJ, Desilets D. Fatal immediately following rapid infusion of macroaggregate of ^{99m}Tc -albumin (MAA) for lung scan. Radiology 1968; 91: 1181.
10. Child JS, Wolfe JD, Tashkin D, et al. Fatal lung scan in a case of pulmonary hypertension due to obliterative pulmonary vascular disease. Chest 1975; 67: 308-10.
11. Alderson PO, Rujanavech N., Secker-Walker RH, et al. The role of ^{133}Xe ventilation studies in the scintigraphic detection of pulmonary embolism. Radiology 1976; 120: 633-40.
12. Secker-Walker RH, Toban MM, Ho JE. Patterns of regional ventilation in patients with cardiomegaly or left heart failure. J Nucl Med 1981; 22: 212-8.
13. Green N, Swanson L, Kera W, et al. Lymphangitis Carcinomatosa, Lung scan abnormalities. J Nucl Med 1976; 17: 258-60.