



ประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่ประชากรส่วนใหญ่ของประเทศประกอบอาชีพทางด้านเกษตรกรรม เพื่อให้ได้ผลผลิตทางการเกษตรในปริมาณมาก แนวความคิดที่ต้องการจะหาวิธีปราบศัตรูพืชให้ได้ผลอย่างรวดเร็ว และแน่นอน จึงก่อให้เกิดการใช้สารป้องกันและกำจัดศัตรูพืช ซึ่งนับวันก็จะยังมีปริมาณการใช้ที่เพิ่มสูงขึ้น โอกาสที่จะสัมผัสกับสารป้องกันและกำจัดศัตรูพืชจึงมีมากขึ้น โดยพบว่ามียางงานอุบัติเหตุของโรคพิษสารกำจัดวัชพืช ส่วนใหญ่เกิดจากการใช้พาราควอท พบมารองจากโรคพิษออร์กาโนฟอสเฟต

พาราควอทมีประวัตินำเข้ามาในประเทศไทยเป็นครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2512 โรคพิษพาราควอทจะเกิด superoxidation เป็นอนุมูลอิสระ ทำให้เกิด polymerization ของสารประกอบไขมันไม่อิ่มตัวของเซลล์เมมเบรนรวมถึงการเกิดความผิดปกติที่ปอด ผู้ป่วยที่ได้รับพิษจากสารพาราควอทจะมีอาการในระยะสั้นได้แก่ หดสติ วิงเวียน ใจสั่น แน่นหน้าอก ปวดท้อง ร้อนท้อง แสบลิ้น เจ็บคอ และลิ้นเปื่อยพอง อาการในระยะยาวได้แก่ ปวดศีรษะ หายใจติดขัด หอบเหนื่อย อ่อนเพลีย แสบตา เคืองตา ตาแดง ความจำไม่ค่อยดี ไอคิวมีเสถียร ในที่สุดจะเกิดพังผืดที่ปอดซึ่งลุกลามและรักษาไม่ได้ และเป็นสาเหตุให้เสียชีวิตได้ แต่ยังไม่มียางงานอย่างชัดเจนเกี่ยวกับ อุบัติการณ์การเสียชีวิตและติดตามอาการระยะยาวของผู้ป่วยที่รอดชีวิตจากการได้รับพิษของสารพาราควอท

กลไกพิษ และพยาธิสภาพของปอด

หลังจากที่สารพาราควอทถูกดูดซึมจากกระเพาะอาหาร และลำไส้เข้าไปในกระแสเลือดแล้ว จะมีจำนวนหนึ่งไปสะสมอยู่ในปอด โดยเฉพาะที่ alveolar epithelial type I และ type II และ clara cell มีการสร้างอนุมูลออกซิเจน (oxygen radical) และ superoxide anion และ lipid hydroperoxide ทำให้เกิดการใช้น้ำ NADPH ไปมาก ดังรูปที่ 1 การสูญเสีย NADPH ทำให้เซลล์ถูกทำลายได้ง่ายขึ้น ประกอบกับการเกิด superoxide และ lipid hydroperoxide ในปริมาณมาก ทำให้เซลล์ถูกทำลายมากขึ้น สูญเสียโครงสร้างของปอดและกระตุ้น fibroblast ให้มีปริมาณมากขึ้น และเกิด fibrosis ทำให้ผู้ป่วยขาดออกซิเจน และถึงแก่กรรม

พยาธิสภาพของปอดในผู้ป่วยที่ได้รับสารพาราควอท และถึงแก่กรรม พบว่า มีเลือดออกโดยทั่ว ๆ ไป มี dilatation ของ bronchioles และ alveolar ducts, proliferation ของ bronchiolar

epithelium เข้าไปใน alveoli มีการสร้าง hyaline membrane มี fibroblast จำนวนเพิ่มขึ้น และเกิด fibrosis ในที่สุด

พยาธิสภาพของระบบอื่น ๆ

1. ตับ

ในตับจะสามารถพบ centrilobular necrosis ทำให้เกิดภาวะตับวายได้ บางรายงานพบว่า มี

intrahepatic cholestasis เกิดขึ้นด้วย

2. ไต

ที่ไตจะพบว่า มีการทำลายของ Loops of Henle และเกิด tubular necrosis ได้ เป็นผลทำให้พบโปรตีน น้ำตาล และ amino acid ในปัสสาวะได้ ในกรณีที่ผู้ป่วยเกิดภาวะไตวาย จะเป็นปัญหาในการรักษาอย่างมาก เนื่องจากการรักษาส่วนหนึ่งต้องพยายามขับสารพาราควอตออกจากร่างกาย โดยการขับปัสสาวะ และถ้าปัสสาวะไม่ออก ก็จะเป็นผลเสีย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในผู้ป่วยที่มีปัญหา pulmonary edema ร่วมด้วย

3. หัวใจ

สารพาราควอตทำให้เกิด myocardial necrosis ได้ ในทางคลินิก บ่อยครั้งที่ผู้ป่วยเกิดภาวะหัวใจ

ล้มเหลว myocarditis หัวใจหยุดเต้นได้

4. สมอง

ในสมองอาจพบเลือดออกได้

การตรวจสมรรถภาพปอด (pulmonary function tests : PFTs) มีความสำคัญในการช่วยวินิจฉัย ประเมิน และติดตามการดำเนินของโรคและการใช้ยาของโรคระบบทางเดินหายใจ เช่น asthma , COPD เป็นต้น

ปอด

ปอดมีหน้าที่แลกเปลี่ยนออกซิเจนจากบรรยากาศกับคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือด เราเรียกการเคลื่อนที่ของอากาศเข้าและออกจากปอดว่า การระบายอากาศ (Ventilation) และเรียกการเคลื่อนที่ของเลือดผ่านปอดว่าการกำซาบ (perfusion) ในสภาวะที่มีการแลกเปลี่ยนแก๊สอย่างเพียงพอนี้การระบายอากาศ (V) ต้องเทียบกับการกำซาบ (Q) ได้ อัตราส่วนโดยเฉลี่ยของ V: Q เท่ากับ 0.8 ได้จากการหารค่าการระบายอากาศของถุงลม (alveolar ventilation) คือ 4 ลิตรต่อ

นาที่ ด้วยค่าผลผลิตของหัวใจ (cardiac output) คือ 5 ลิตรต่อนาที ซึ่งค่านี้เปลี่ยนแปลงในกรณีที่เกิดความผิดปกติต่อหัวใจหรือปอด

กระบวนการหายใจจะสมบูรณ์ได้ก็เมื่อมีการแพร่กระจายขึ้นที่ถุงลม โดยแก๊สในถุงลมจะแพร่กระจายจากที่ที่มีความเข้มข้นสูงไปสู่ที่ที่มีความเข้มข้นต่ำ hemoglobin จะปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาและจะดูดซับออกซิเจนผ่านผนังถุงลม ถ้าผนังเหล่านี้เกิดหนาตัวขึ้น การแพร่กระจายจะไม่สะดวก การที่เยื่อหนาตัวขึ้นอาจเกิดเนื่องจากการอักเสบแบบเฉียบพลันหรือเรื้อรังได้ เช่น ภาวะ ปอดบวมน้ำอย่างเฉียบพลันจากโรคหัวใจล้มเหลว หรือปอดบวมจากวัณโรคแบบเรื้อรัง silicosis และสภาวะ fibrotic อื่น ๆ ค่า V : Q ที่ผิดปกติอาจลดความสามารถในการแพร่กระจายของปอดอีกด้วย

เนื้อเยื่อของทางเดินอากาศและปอดมีความสำคัญในการตรวจวัดสมรรถภาพปอด การวัดหน้าที่ของทางเดินอากาศทำได้โดยวัดอากาศที่ผ่านเข้าและออกจากปอด การวัดความสามารถของปอด โดยมากจะวัดว่าอากาศอยู่ในเนื้อแท้ (parenchyma) ของปอดแค่ไหน แม้ว่าอากาศบางส่วนจะอยู่ในทางเดินอากาศ

ความสำคัญทางคลินิกของการวัดสมรรถภาพของปอด

การวัดสมรรถภาพของปอดช่วยให้ทราบถึงการทำงานของปอดก่อนที่จะทำการรักษา บอกถึงความผิดปกติของปอดได้ นอกจากนี้ยังช่วยประเมินความเสี่ยงต่อสารหรือสิ่งแวดล้อมที่เป็นพิษด้วย การแยกโรคทางระบบหายใจบางอย่าง ต้องอาศัยการตรวจสมรรถภาพของปอด เช่น โรคที่เกิดจากหลอดลมอุดกั้น เช่น โรคหืด โรคหลอดลมอักเสบเรื้อรัง จะมีการอุดกั้นการไหลเวียนของอากาศในทางเดินอากาศอย่างชั่วคราวหรือเรื้อรัง การไหลเวียนของอากาศลดลงแต่ปริมาตรยังเท่าเดิม ขณะที่โรคที่เกี่ยวข้องกับการจำกัดการขยายตัวของปอดจะมีการจำกัดอากาศในปอดทำให้ปริมาตรอากาศลดลงแต่การไหลยังเท่าเดิม

ดังนั้นการวัดสมรรถภาพปอดจะทำเพื่อ

1. ประเมินอาการทางระบบหายใจ
2. ค้นหาโรคเกี่ยวกับระบบหายใจ
3. ประเมินความรุนแรงของโรค
4. ติดตามการดำเนินของโรค
5. ประเมินผลตอบสนองต่อการรักษา
6. ประเมินความเสี่ยงต่อระบบหายใจที่เกิดจากสภาวะแวดล้อมที่เป็นพิษ

วิธีการและเครื่องมือ

Spirometry

หมายถึงการวัดสมรรถภาพปอดโดยการวัดปริมาตรของลมหายใจออกในเวลาที่กำหนดเช่น 0.5, 1, 2 และ 3 วินาที มีข้อกำหนดของการทำโดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า spirometer โดยผู้ป่วยนั่งในท่าตรงหน้าเครื่องมือ ไม่ควรจะนอนหรือนั่งตัวงอ เนื่องจากการวัดนี้ต้องอาศัยความร่วมมือของผู้ป่วย และการควบคุมการเคลื่อนไหวที่สมบูรณ์ จึงไม่เหมาะที่จะทำในเด็กที่อายุน้อยกว่า 5 ปี

เริ่มแรกผู้ป่วยจะต้องหายใจปกติ 2 - 3 ครั้ง หลังจากนั้นให้ผู้ป่วยหายใจเข้าให้เต็มที่ที่สุด แล้วหายใจออกอย่างรวดเร็ว แรง และนานที่สุด โดยทั่วไปใช้เวลาประมาณ 5 - 6 วินาทีในการหายใจออกจนหมด แต่อาจนานกว่านั้นถ้ามีการอุดกั้นอย่างมาก ปริมาตรอากาศที่ผู้ป่วยหายใจออกอย่างรวดเร็ว แรง และนานนี้คือค่า *forced vital capacity (FVC)*

ผลการทำ spirometry ของผู้ป่วยจะขึ้นกับความพยายามของผู้ป่วยด้วย ดังนั้นผู้ป่วยอาจต้องทำการทดสอบซ้ำจนได้ค่าที่ต่างกันน้อยกว่า 5 % หรือ 0.1 ลิตรอย่างน้อย 3 ครั้ง

การตรวจสมรรถภาพปอด (Pulmonary function tests; PFTs)

การตรวจสมรรถภาพปอดวัดความจุปอด การไหลเวียนของปอด และความสามารถในการแพร่กระจายของปอด รวมถึงความไว ความยืดหยุ่น และความต้านของหลอดลม

การวัดความจุของปอด (Lung Volume Tests)

หมายถึงปริมาตรของลมที่วัดในขณะที่ทรวงอกอยู่ในลักษณะต่าง ๆ กัน เช่น ทรวงอกขยายเต็มที่ ปานกลาง น้อยที่สุด โดยวัดค่าต่าง ๆ เหล่านี้

1. Tidal volume (TV) หมายถึง ปริมาตรของลมที่หายใจเข้าและออกธรรมดา 1 ครั้ง ปกติแล้วจะ

เป็นสัดส่วนที่น้อยสำหรับการวัดความจุปอด คือมีค่าแค่ 500 - 700 ml ดังนั้นจึงไม่ค่อยใช้กับภาวะโรคระบบการหายใจ

2. Inspiratory volume (IC) หมายถึง ปริมาตรของลมที่สูดเข้าเต็มที่หลังจากที่หายใจออก
3. Inspiratory reserve volume (IRV) หมายถึง ปริมาตรของลมหายใจเข้าจนสุด ต่อมาจากการหายใจเข้าธรรมดา

4. Expiratory reserve volume (ERV) หมายถึงปริมาตรของลมหายใจออกจนสุดต่อจากการหายใจออกธรรมดา
5. Vital capacity (VC) หมายถึงปริมาตรของลมหายใจเข้าหรือหายใจออกเต็มที่หลังจากได้สูดหายใจเข้าหรือได้เป่าลมออกจนสุด
6. Residual volume (RV) หมายถึงปริมาตรของลมที่ค้างอยู่ในปอดหลังจากที่หายใจออกจนสุดแล้ว ปกติค่า RV จะเท่ากับ 1 ลิตร ในโรคที่มีการอุดกั้นซึ่งจะดักลมไว้ในปอดจะพบค่า RV เพิ่มขึ้น
7. Functional residual capacity (FRC) หมายถึงปริมาตรของลมในปอด หลังจากการหายใจออกธรรมดา คือผลรวมของ ERV และ RV ค่า FRC ที่สูงขึ้นแสดงถึงหลอดลมอุดกั้น ถ้าค่า FRC ลดลง แสดงว่ามีโรคที่เกี่ยวกับถุงลมหรือมีความผิดปกติเกี่ยวกับการขยายตัวของปอดถูกจำกัด
8. Total lung capacity (TLC) หมายถึงปริมาตรของลมในปอดทั้งหมด เมื่อสิ้นสุดการหายใจเข้าเต็มที่ คือผลรวมของค่า RV และ VC

การตรวจการไหลของลม

การตรวจการไหลของลม จะทำการตรวจ 3 สิ่ง ซึ่งวัดได้จาก spirometry ดังนี้

Forced expiratory volume (FEV)

หมายถึงปริมาตรของลมหายใจที่เป่าออกมาโดยเร็ว แรง และนานจากปอดที่มีความจำเต็มที่ ในเวลาที่กำหนด เช่น ที่ 0.5, 1, 3 วินาที จากการตรวจนี้ค่า FEV₁ จะมีความสำคัญทางคลินิกมากที่สุด เนื่องจากเป็นตัวชี้วัดถึงการทำงานของทางเดินอากาศที่ใหญ่ ค่าปกติของ FEV₁ เท่ากับ 0.75 – 5.5 ลิตร พิสัยนี้ค่อนข้างกว้างเนื่องจากความต่างทางกายภาพของแต่ละคน โดยทั่วไปค่าที่ได้จากผู้ป่วยจะระบุเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าที่คาดได้ หรือเป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากค่าเฉลี่ยของประชากรที่อายุเท่ากันและสภาพร่างกายเหมือนกัน ค่าที่มากกว่า 80% ของที่ทำนายได้ หรือภายใน ± 2 SD ถือว่าปกติ ค่าที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 80% หรือเกินค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานไป 2 SD ถือว่าผิดปกติ และโดยมากจะเกี่ยวข้องกับการอุดกั้นของหลอดลมในผู้ป่วยที่มีทางเดินอากาศอุดกั้นแบบผันกลับได้เมื่อภาวะโรคไม่กำเริบจะพบว่าค่านี้ปกติ ขณะที่โรคกำเริบจะพบ FEV₁ ลดลงอย่างมาก

ในโรคเกี่ยวกับการอุดกั้นของหลอดลม และโรคที่การขยายตัวของปอดถูกจำกัด ค่านี้จะแสดงว่ามีการไหลของลมลดลง ขนาดการเปลี่ยนแปลงของ FEV₁ จะบอกถึงความรุนแรงของโรคทางเดินอากาศอุดกั้น โดยจะรายงานเป็นระดับดังนี้ ระดับไม่รุนแรง (mild) ค่า FEV₁ เท่ากับ

60 - 80% ของค่าที่ทำนายได้ ระดับปานกลาง (moderate) ค่า FEV_1 เท่ากับ 41 - 60 % และระดับรุนแรง (severe) ค่านี้จะน้อยกว่าหรือเท่ากับ 40%

อัตราส่วนของ FEV_1 ต่อ FVC เป็นอีกวิธีที่ใช้ในการประมาณว่ามีการอุดกั้นของหลอดลมมากน้อยแค่ไหน ค่า FVC (forced vital capacity) หมายถึงปริมาตรของลมหายใจออกทั้งหมดที่เป่าออกมาโดย เร็ว แรง และนานจากปอดที่มีความจุเต็มที่โดยอัตราส่วนนี้จะแสดงถึงปริมาตรลมที่เคลื่อนที่ใน 1 วินาที เมื่อเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์กับปริมาตรลมที่เคลื่อนที่ทั้งหมด คนทั่วไปจะหายใจออกประมาณ 50% ของค่า FVC ภายใน 0.5 วินาทีแรก ประมาณ 80% ภายใน 1 วินาที และประมาณ 98% ภายใน 3 วินาที

ผู้ป่วยด้วยโรคหลอดลมอุดกั้นจะมีอัตราส่วนของค่าทั้งสองนี้ลดลงและเปอร์เซ็นต์การลดลงจะขึ้นกับความรุนแรงของการอุดกั้น โดยทั่วไปอัตราส่วนนี้จะปกติหรือสูงขึ้นในผู้ป่วยที่การขยายตัวของปอดถูกจำกัด เนื่องจากค่า FVC และ FEV_1 จะลดลงจากปกติอย่างเท่ากันในภาวะนี้

Peak Expiratory Flow Rate (PEFR)

คือ ความเร็วสูงสุดของลมหายใจออก หมายถึงความเร็วสูงสุดของลมที่เป่าออกมาจากปอดที่มีความจุเต็มโดยเร็วและแรง การวัด PEFR นี้ทำได้ง่ายโดยใช้เครื่องมือ peak flow meter และใช้เป็นเครื่องชี้วัดถึงการอุดกั้นของหลอดลมขนาดใหญ่

ค่าปกติของ PEFR จะกว้างมาก เช่นเดียวกับค่า FEV_1 คือ ในผู้ชายค่า PEFR เท่ากับ 400 - 800 ลิตร / นาที ในผู้หญิงจะเท่ากับ 200 - 600 ลิตร / นาที การเปรียบเทียบค่าที่อ่านได้ในปัจจุบันกับค่าที่ดีที่สุดของผู้ป่วยจะเป็นประโยชน์ที่สุดเนื่องจากเมื่อมีการอุดกั้น ค่าที่วัดได้จากผู้ป่วยจะลดจากค่าที่ดีที่สุดอย่างมาก ค่า 50 -100 ลิตร / นาที หรือน้อยกว่านั้น แสดงว่าเกิดการอุดกั้นของหลอดลมอย่างรุนแรงและเฉียบพลัน

โดยทั่วไปค่า PEFR จะลดลงในผู้ป่วยด้วยภาวะหลอดลมอุดกั้น แต่จะปกติในผู้ป่วยด้วยการขยายตัวของปอดถูกจำกัด แม้ว่าการวัดความเร็วสูงสุดจะไม่เฉพาะเจาะจง แต่เป็นวิธีการทำที่ทำได้ง่ายและสะดวกที่บ้าน โรคหืดเป็นโรคที่มีการติดตามอาการโดยใช้ peak flow meter เป็นส่วนใหญ่ โปรแกรมการให้ความรู้เรื่องโรคหืดแห่งชาติของสหรัฐอเมริกา เสนอแนะวิธีจำแนกความรุนแรงของโรคก่อนการรักษาโดยติดตามสมรรถภาพของปอด ดังนี้

1. ระยะที่นาน ๆ เป็นครั้งและไม่รุนแรง (mild intermittent) มีอาการน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2 ครั้งต่อสัปดาห์ ในช่วงโรคกำเริบผู้ป่วยไม่แสดงอาการและมีค่า PEF ปกติ ช่วงเวลาที่โรคกำเริบสั้น 2 - 3 ชั่วโมงถึง 2 - 3 วัน ความรุนแรงแตกต่างกันไปในแต่ละคน และมีอาการตอนกลางคืนน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2 ครั้งต่อเดือนค่า FEV_1 หรือ PEF มากกว่าหรือเท่ากับ 80% ของค่าที่ทำนาย และ PEF มีความเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า 20%

2. ระยะเวลาที่เป็นนานแต่ไม่รุนแรง (*mild persistent*) มีอาการมากกว่า 2 ครั้งต่อสัปดาห์ แต่น้อยกว่าวันละครั้ง ช่วงกำเริบอาจมีผลต่อการทำงาน อาการตอนกลางคืนมากกว่า 2 ครั้งต่อเดือน ค่า FEV₁ หรือ PEF มากกว่าหรือเท่ากับ 80% ของค่าที่ทำนาย และ PEF มีการเปลี่ยนแปลง 20 - 30%
3. ระยะเวลาที่เป็นนานและอาการปานกลาง (*moderate persistent*) มีอาการทุกวัน ต้องใช้ยา β_2 - agonist ชนิดพ่นทุกวัน ช่วงโรครำเริบมีผลต่อการทำงาน ช่วงเวลาที่โรคกำเริบจะมากกว่า 2 ครั้งต่อสัปดาห์ และจะเป็นหลายวัน อาการตอนกลางคืนจะเป็นมากกว่า 1 ครั้งต่อสัปดาห์ ค่า FEV₁ หรือ PEF มากกว่า 60 - 80% ของค่าที่ทำนาย และ PEF มีความเปลี่ยนแปลงมากกว่า 30%
4. ระยะเวลาที่เป็นนานและมีอาการรุนแรง (*severe persistent*) มีอาการต่อเนื่อง การทำงานทำได้จำกัด มีการกำเริบของโรคบ่อยครั้ง อาการตอนกลางคืนเป็นบ่อยมาก ค่า FEV₁ หรือ PEF น้อยกว่าหรือเท่ากับ 60% ของค่าที่ทำนาย และ PEF มีความเปลี่ยนแปลงมากกว่า 30%

Forced Expiratory Flow (FEF)

คือความเร็วเฉลี่ยในช่วงความจุปอดที่กำหนด เรียกค่า FEF ช่วง 25 - 75% ของค่า vital capacity ว่า FEF₂₅₋₇₅ ค่านี้เป็นค่าเฉพาะที่ใช้วัดอัตราความเร็วของลมในหลอดลมขนาดปานกลางและเล็ก (bronchioles และ terminal bronchioles) เนื่องจากโรคหืดมีผลต่อหลอดลมเหล่านี้ ค่า FEF₂₅₋₇₅ เป็นตัวชี้วัดที่ดีของการเกิดการอุดกั้น

การวัดความสามารถในการแพร่กระจายของปอด (Diffusion Capacity Tests)

เป็นค่าที่บอกถึงความสามารถในการแพร่กระจายของแก๊สผ่านผนังถุงลมเข้าสู่เส้นเลือดฝอยรอบถุงลม ค่านี้ใช้ในการประเมินภาวะโรคทางปอดชนิด interstitial lung disease ค่านี้จะวัดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ผ่านจากถุงลมเข้าไปในเลือดต่อวินาที ค่าการแพร่กระจายนี้จะลดลงเมื่อพื้นที่ผิวของถุงลมน้อยลง หรือผนังถุงลมและเส้นเลือดหนาขึ้น

ค่านี้ได้จากการวัดอัตราการลดลงในความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่หายใจผ่านถุงลมเข้าไป เรียกการทดสอบนี้ว่า *lung diffusion test* (DL_{CO}) ซึ่งวัดได้จากการหายใจครั้งเดียวหรือที่สถานะคงที่

ในการวัดจากการหายใจครั้งเดียวนี้ผู้ป่วยจะหายใจอากาศที่ผสมระหว่าง 0.3% คาร์บอนมอนอกไซด์ 10% ฮีเลียม และอากาศ เข้าอย่างเต็มที่ วัดความเข้มข้นของ

คาร์บอนมอนอกไซด์ และฮีเลียมระหว่างช่วงสุดท้ายของการหายใจออก เทียบความเข้มข้นนี้กับความเข้มข้นในช่วงหายใจเข้าเพื่อหาค่าการแพร่กระจายผ่านผนังถุงลม ค่าเฉลี่ยของคาร์บอนมอนอกไซด์ประมาณ 25 - 30 มิลลิลิตร / นาที / มม.ปรอท

การวัดในสถานะคงที่ให้ผู้ป่วยหายใจเข้าคาร์บอนมอนอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 0.1 - 0.2% เป็นเวลา 5 - 6 นาที ใน 2 นาทีสุดท้ายจะวัดค่าแก๊สในเลือด (ABGs) และเก็บลมหายใจออกนำมาวัดปริมาตรทั้งหมด และความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์และออกซิเจน ตรวจ ABGs เพื่อหาค่าคาร์บอนมอนอกไซด์ ค่าเหล่านี้ใช้ในการคำนวณหาปริมาตรแก๊สที่แพร่ผ่านผนังถุงลมต่อนาที ค่าเฉลี่ยที่ได้จากวิธีวัดในสถานะคงที่จะน้อยกว่าได้จากการวัดครั้งเดียว นอกจากนี้ค่าที่ได้จากผู้หญิงจะน้อยกว่าผู้ชาย อาจเนื่องจากเพราะผู้หญิงมีปริมาตรปอดน้อยกว่า

การทดสอบการแพร่กระจายนี้ใช้ในการประเมินสภาวะปอดที่มีพังผืดผิดปกติ ค่านี้จะลดลงในภาวะที่มีถุงลมหนาขึ้น โดยอาจเป็นโรคเกิดขึ้นเอง เช่น sarcoidosis หรือ จากสิ่งแวดล้อมหรือการทำงาน (asbestosis) หรือเกิดจากยา เช่น nitrofurantoin, amiodarone และ bleomycin นอกจากนี้โรคหรือสาเหตุใดที่ทำให้ความเข้มข้นของ Hgb ลดลง จะทำให้ค่า DL_{CO} ลดลงด้วย นอกจากนี้ค่า DL_{CO} สะท้อนปริมาตรของเลือดในเส้นเลือดฝอยของปอด ดังนั้นภาวะใดก็ตามที่มีปริมาตรของเลือดในเส้นเลือดฝอยเพิ่มขึ้น เช่น ภาวะปอดบวมหรือโรคหืด จะพบค่า DL_{CO} เพิ่มขึ้นด้วย

Flow - Volume Curves (F - V curve)

หมายถึงการทดสอบที่บันทึกความเร็วของลมในขณะที่ความจุของปอดมีขนาดต่าง ๆ กัน เช่น ความเร็วขณะที่ปอดมีความจุเต็มที่ จุปานกลาง และจุน้อยที่สุด โดยมากนิยมทำการทดสอบขณะหายใจออก รูปร่างของ curve นี้จะบอกได้ถึงชนิดของโรคและความรุนแรงของการอุดกั้น

ภาวะโรคที่มีการอุดกั้นของหลอดลม (obstructive disease) จะมีการไหลของลมลดลงโดยที่ปริมาตรของปอดลดลงด้วย ทำให้ curve มีลักษณะว่า ในรายที่มีการอุดกั้นแบบเฉียบพลันและรุนแรง

ความยืดหยุ่นและความต้านของปอด

ความยืดหยุ่น (Compliance)

ความยืดหยุ่นของปอดคือผลของการเปลี่ยนแปลงในปริมาตรปอดหารด้วยการเปลี่ยนแปลงแรงดันในทรวงอก ความยืดหยุ่นของปอดนี้ขึ้นกับปริมาตรของลมในปอด ดังนั้นความยืดหยุ่นค่อนข้างปกติเมื่อเทียบตามส่วนกับ FRC อัตราส่วนนี้มีประโยชน์เมื่อเปรียบเทียบกับผู้ที่มีการทำงานของปอดปกติกับผู้ที่เป็โรค แรงดันขึ้นกับความพยายามในการขยายปอด เมื่อเนื้อเยื่อปอดยืดจนสุดแล้ว ความดันที่จะยืดปอดออกไปอีก ต้องเพิ่มมากขึ้น

ความยืดหยุ่นนี้จะลดลงในผู้ป่วยที่มีปริมาตรปอดลดลง เนื่องจากเกิดแผลในเนื้อปอด (fibrosis) บวมน้ำ atelectasis และปอดบวม นอกจากนี้ยังพบได้ในภาวะที่ความดันในการขยายปอดสูงขึ้น เนื่องจากสูญเสียตัวลดแรงตึงผิว เช่น ในภาวะ adult respiratory distress syndrome (ARDS) ความยืดหยุ่นจะเพิ่มขึ้นในกรณีที่ต้องการใช้ความดันในการขยายปอดน้อยลง ผู้ป่วยด้วยโรคถุงลมโป่งพอง จะมีการทำลายเนื้อเยื่อและลดความคืนตัวของเนื้อเยื่อ ทำให้มีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น

ความต้าน (Resistance)

ความต้านคือผลของความเปลี่ยนแปลงในแรงดันหารด้วยการเปลี่ยนแปลงการไหลของลม ค่านี้มีประโยชน์ในการแยกโรคหลอดลมอุดกั้นจากโรคการขยายของปอดถูกจำกัดหรือจากการทำงานปกติ ในโรคถุงลมอุดกั้นความต้านทานที่เกี่ยวข้องกับการอุดกั้นการไหลของลมจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากหลอดลมแคบลงในระยะที่เกิดโรคหืดอย่างเฉียบพลัน ทำให้ค่าความต้านเพิ่มขึ้นด้วย ความต้านนี้อาจเพิ่มขึ้นในผู้ป่วยโรคถุงลมโป่งพองและโรคหลอดลมอักเสบด้วยเนื่องจากการอุดกั้นหลอดลม

พยาธิสรีระของการทดสอบ Spirometry

1. FVC เป็นปริมาตรของลมทั้งหมดที่สามารถเคลื่อนออกมาเต็มที่จากปอดที่มีความจุเต็ม การเปลี่ยนแปลงของ FVC จะขึ้นอยู่กับ
 - 1.1 ปริมาตรปอด ถ้าปอดมีปริมาตรเล็ก FVC จะลดลง ในกรณีที่ปริมาตรปอดโตกว่าปกติมักมีสาเหตุจากลมค้างในปอดมาก เนื่องจากลมออกไม่สะดวกจากหลอดลมถูกอุดกั้น ดังนั้นแทนที่ FVC จะเพิ่มจะกลายเป็นลดลง
 - 1.2 ความโล่งของหลอดลม ในกรณีที่หลอดลมถูกอุดกั้นน้อย FVC ไม่เปลี่ยนแปลง ถ้าอุดกั้นมาก FVC จะลดลง

- 1.3 แรงที่เป่าลม ต้องอาศัยกล้ามเนื้อหายใจที่มีแรงดีด้วย
- 1.4 ระยะเวลาที่ใช้ในการเป่าลม FVC ถ้าให้เวลาไม่นานเต็มที่ FVC ที่ได้จะลดลง โดยเฉพาะในกรณีที่หลอดลมอุดกั้นรุนแรง ลมจะออกช้าถ้าใช้เวลาเป่าลมออกไม่นานพอ FVC จะยิ่งลดลงมากกว่าที่เป็นจริง ดังนั้นการทำ spirometry จึงมีกำหนดเวลาของการเป่าออกให้เป็นเวลานานถึง 6-10 วินาที
2. FEV₁ เป็นปริมาตรลม แต่เนื่องจากการวัดที่เวลา 1 วินาที ดังนั้นจึงเป็นการวัดความเร็วของลมไปด้วย (ความเร็วของลม = ปริมาตรของลมใน 1 หน่วยเวลา) FEV₁ มีการเปลี่ยนแปลงตาม
 - 2.1 ความจุของปอด เนื่องจากการวัด FEV₁ เป็นการวัดปริมาตรชนิดหนึ่ง ดังนั้นเมื่อปริมาตรปอดลดลง ปริมาตร FEV₁ จึงพลอยลดลงด้วย
 - 2.2 ความโค้งงอของหลอดลม หลอดลมที่มีการอุดกั้นจะทำให้ความเร็วของลมคือ FEV₁ ลดลงด้วย นอกจากนี้ FEV₁ จะสามารถบอกความรุนแรงของการอุดกั้นของหลอดลมด้วย
 - 2.3 แรงที่ใช้เป่าลม โดยเฉพาะถ้าไม่ออกแรงเต็มที่ FEV₁ จะลดลง

แบบบันทึกข้อมูลผู้ป่วย

<p>ชื่อ นายสนาม นามสกุล เกตุนิล</p> <p>ที่อยู่ปัจจุบัน 19/1 หมู่ 3 ตำบลห่อแก้ว อำเภอวัดโบสถ์ จังหวัดพิษณุโลก 65160</p> <p>อาชีพปัจจุบัน ทำนา</p> <p>ระดับการศึกษา ป.6</p> <p>สถานภาพ <input type="checkbox"/> โสด <input checked="" type="checkbox"/> แต่งงาน <input type="checkbox"/> หย่าร้าง</p> <p>สาเหตุที่ได้รับสารพิษ</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> ฆ่าตัวตาย</p> <p><input type="checkbox"/> ได้รับโดยไม่ตั้งใจ</p> <p><input type="checkbox"/> จากการสัมผัส</p> <p><input type="checkbox"/> อื่นๆ (ระบุ)</p> <p>ปริมาณที่ได้รับ 10 ml ปีที่ได้รับ 2542</p> <p>ชื่อผลิตภัณฑ์ กรัมมือกโซน</p> <p>หลังจากได้รับการรักษามีการใช้ Paraquat หรือไม่</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> ใช่ <input type="checkbox"/> ไม่ใช่</p> <p>ชื่อผลิตภัณฑ์ กรัมมือกโซน</p> <p>ระยะเวลาที่ใช้ 1 ปี</p> <p>ปริมาณที่ใช้ -</p> <p>วิธีการใช้ ฉีดพ่น</p>	<p><input checked="" type="checkbox"/> ชาย <input type="checkbox"/> หญิง</p> <p>อายุ 40 ปี</p> <p>น้ำหนัก 63 กก.</p> <p>ส่วนสูง 163 ซม.</p> <p>ประวัติการสูบบุหรี่</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> สูบ <input type="checkbox"/> ไม่สูบ</p> <p>จำนวนต่อวัน 5-8 มวน</p> <p>ระยะเวลาที่สูบ > 5 ปี</p> <p>โรคประจำตัว</p> <p><input type="checkbox"/> Asthma</p> <p><input type="checkbox"/> COPD</p> <p><input type="checkbox"/> Emphysema</p> <p><input type="checkbox"/> Pneumonia</p> <p><input type="checkbox"/> Tuberculosis</p> <p><input type="checkbox"/> Chronic bronchitis</p> <p><input type="checkbox"/> อื่นๆ (ระบุ)</p>
---	--

ผลการวัดประสิทธิภาพปอด	FVC	FEV ₁	VC
ครั้งที่ 1	0.79	0.57	-
ครั้งที่ 2	0.69	0.39	-
ค่าที่ใช้	0.79	0.57	0.84

แบบบันทึกข้อมูลผู้ป่วย

<p>ชื่อ นายจิรศักดิ์ นามสกุล รัชพันธุ์</p> <p>ที่อยู่ปัจจุบัน 137/2 หมู่ 10 ตำบลบ้านกร่าง อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000</p> <p>อาชีพปัจจุบัน ทำนา</p> <p>ระดับการศึกษา ม.3</p> <p>สถานภาพ <input checked="" type="checkbox"/> โสด <input type="checkbox"/> แต่งงาน <input type="checkbox"/> หย่าร้าง</p> <p>สาเหตุที่ได้รับสารพิษ</p> <p><input type="checkbox"/> ฆ่าตัวตาย</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> ได้รับโดยไม่ตั้งใจ</p> <p><input type="checkbox"/> จากการสัมผัส</p> <p><input type="checkbox"/> อื่นๆ (ระบุ)</p> <p>ปริมาณที่ได้รับ 5 ml ปีที่ได้รับ 2539</p> <p>ชื่อผลิตภัณฑ์ ราวอัฟ</p> <p>หลังจากได้รับการรักษามีการใช้ Paraquat หรือไม่</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> ใช่ <input type="checkbox"/> ไม่ใช่</p> <p>ชื่อผลิตภัณฑ์ ราวอัฟ</p> <p>ระยะเวลาที่ใช้ -</p> <p>ปริมาณที่ใช้ -</p> <p>วิธีการใช้ ฉีดพ่น</p>	<p><input checked="" type="checkbox"/> ชาย <input type="checkbox"/> หญิง</p> <p>อายุ 18 ปี</p> <p>น้ำหนัก 53 กก.</p> <p>ส่วนสูง 160 ซม.</p> <p>ประวัติการสูบบุหรี่</p> <p><input type="checkbox"/> สูบ <input checked="" type="checkbox"/> ไม่สูบ</p> <p>จำนวนต่อวัน</p> <p>ระยะเวลาที่สูบ</p> <p>โรคประจำตัว</p> <p><input type="checkbox"/> Asthma</p> <p><input type="checkbox"/> COPD</p> <p><input type="checkbox"/> Emphysema</p> <p><input type="checkbox"/> Pneumonia</p> <p><input type="checkbox"/> Tuberculosis</p> <p><input type="checkbox"/> Chronic bronchitis</p> <p><input type="checkbox"/> อื่นๆ (ระบุ)</p>
---	--

ผลการวัดประสิทธิภาพปอด	FVC	FEV ₁	VC
ครั้งที่ 1	4.55	1.21	-
ครั้งที่ 2	4.23	1.11	-
ค่าที่ใช้	4.55	1.21	1.72

แบบบันทึกข้อมูลผู้ป่วย

ชื่อ นายบุญสม ที่อยู่ปัจจุบัน 62 หมู่ 2 ตำบลบึงกอก อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก 65240 อาชีพปัจจุบัน ทำนา ระดับการศึกษา ป.4	นามสกุล ใจคุ้ม	<input checked="" type="checkbox"/> ชาย <input type="checkbox"/> หญิง อายุ 37 ปี น้ำหนัก 80 กก. ส่วนสูง 165 ซม. ประวัติการสูบบุหรี่ <input checked="" type="checkbox"/> สูบ <input type="checkbox"/> ไม่สูบ จำนวนต่อวัน 4-5 มวน ระยะเวลาที่สูบ
สถานภาพ <input type="checkbox"/> โสด <input checked="" type="checkbox"/> แต่งงาน <input type="checkbox"/> หย่าร้าง		โรคประจำตัว <input type="checkbox"/> Asthma <input type="checkbox"/> COPD <input type="checkbox"/> Emphysema <input type="checkbox"/> Pneumonia <input type="checkbox"/> Tuberculosis <input type="checkbox"/> Chronic bronchitis <input type="checkbox"/> อื่นๆ (ระบุ)
สาเหตุที่ได้รับสารพิษ <input type="checkbox"/> ฆ่าตัวตาย <input checked="" type="checkbox"/> ได้รับโดยไม่ตั้งใจ <input type="checkbox"/> จากการสัมผัส <input type="checkbox"/> อื่นๆ (ระบุ) ปริมาณที่ได้รับ 5-10 ml ปีที่ได้รับ 2540		
ชื่อผลิตภัณฑ์ เฮอร์ซูล หลังจากได้รับการรักษามีการใช้ Paraquat หรือไม่ <input checked="" type="checkbox"/> ใช้ <input type="checkbox"/> ไม่ใช้ ชื่อผลิตภัณฑ์ รอบสตาร์, กรัมมือกโรน ระยะเวลาที่ใช้ 2 ปี ปริมาณที่ใช้ - วิธีการใช้ ฉีดพ่น		

ผลการวัดประสิทธิภาพปอด	FVC	FEV ₁	VC
ครั้งที่ 1	2.61	2.36	-
ครั้งที่ 2	2.36	1.85	-
ค่าที่ใช้	2.61	2.36	2.26

แบบบันทึกข้อมูลผู้ป่วย

<p>ชื่อ นายมานะ นามสกุล วรพูน</p> <p>ที่อยู่ปัจจุบัน 10 หมู่ 4 ตำบลวังชะโอน อำเภอเมืองสามัคคี จังหวัดกำแพงเพชร 62140</p> <p>อาชีพปัจจุบัน ทำไร่</p> <p>ระดับการศึกษา ป.4</p> <p>สถานภาพ <input type="checkbox"/> โสด <input checked="" type="checkbox"/> แต่งงาน <input type="checkbox"/> หย่าร้าง</p> <p>สาเหตุที่ได้รับสารพิษ</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> ฆ่าตัวตาย</p> <p><input type="checkbox"/> ได้รับโดยไม่ตั้งใจ</p> <p><input type="checkbox"/> จากการสัมผัส</p> <p><input type="checkbox"/> อื่นๆ (ระบุ)</p> <p>ปริมาณที่ได้รับ > 10 ml ปีที่ได้รับ 2541</p> <p>ชื่อผลิตภัณฑ์ -</p> <p>หลังจากได้รับการรักษามีการใช้ Paraquat หรือไม่</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> ใช่ <input type="checkbox"/> ไม่ใช่</p> <p>ชื่อผลิตภัณฑ์ กรัมมือกรีน</p> <p>ระยะเวลาที่ใช้ 1 ปี</p> <p>ปริมาณที่ใช้ -</p> <p>วิธีการใช้ ฉีดพ่น</p>	<p><input checked="" type="checkbox"/> ชาย <input type="checkbox"/> หญิง</p> <p>อายุ 38 ปี</p> <p>น้ำหนัก 55 กก.</p> <p>ส่วนสูง 154 ซม.</p> <p>ประวัติการสูบบุหรี่</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> สูบ <input type="checkbox"/> ไม่สูบ</p> <p>จำนวนต่อวัน 2-3 มวน</p> <p>ระยะเวลาที่สูบ >10 ปี</p> <p>โรคประจำตัว</p> <p><input type="checkbox"/> Asthma</p> <p><input type="checkbox"/> COPD</p> <p><input type="checkbox"/> Emphysema</p> <p><input type="checkbox"/> Pneumonia</p> <p><input type="checkbox"/> Tuberculosis</p> <p><input type="checkbox"/> Chronic bronchitis</p> <p><input type="checkbox"/> อื่นๆ (ระบุ)</p>
---	--

ผลการวัดประสิทธิภาพปอด	FVC	FEV ₁	VC
ครั้งที่ 1	1.82	0.42	-
ครั้งที่ 2	1.99	0.03	-
ค่าที่ใช้	1.99	0.42	2.36

แบบบันทึกข้อมูลผู้ป่วย

ชื่อ นายบรรเจ็ด ที่อยู่ปัจจุบัน 14 หมู่ 15 ตำบลวังช้างพล อำเภอนครหลวงลพิษบุรี จังหวัดกำแพงเพชร 62130 อาชีพปัจจุบัน ทำไร่ ระดับการศึกษา ป.7	นามสกุล จันเขียว	<input checked="" type="checkbox"/> ชาย <input type="checkbox"/> หญิง อายุ 36 ปี น้ำหนัก 70 กก. ส่วนสูง 186.5 ซม. ประวัติการสูบบุหรี่ <input checked="" type="checkbox"/> สูบ <input type="checkbox"/> ไม่สูบ จำนวนต่อวัน > 5-6 มวน ระยะเวลาที่สูบ > 10 ปี
สถานภาพ <input type="checkbox"/> โสด <input checked="" type="checkbox"/> แต่งงาน <input type="checkbox"/> หย่าร้าง		โรคประจำตัว <input type="checkbox"/> Asthma <input type="checkbox"/> COPD <input type="checkbox"/> Emphysema <input type="checkbox"/> Pneumonia <input type="checkbox"/> Tuberculosis <input type="checkbox"/> Chronic bronchitis <input type="checkbox"/> อื่นๆ (ระบุ)
สาเหตุที่ได้รับสารพิษ <input checked="" type="checkbox"/> ฆ่าตัวตาย <input type="checkbox"/> ได้รับโดยไม่ตั้งใจ <input type="checkbox"/> จากการสัมผัส <input type="checkbox"/> อื่นๆ (ระบุ)		
ปริมาณที่ได้รับ 5-10 ml ปีที่ได้รับ 2542		
ชื่อผลิตภัณฑ์ เพนธารา หลังจากได้รับการรักษามีการใช้ Paraquat หรือไม่ <input checked="" type="checkbox"/> ใช่ <input type="checkbox"/> ไม่ใช่		
ชื่อผลิตภัณฑ์ รวอัท ระยะเวลาที่ใช้ 1 ปี ปริมาณที่ใช้ - วิธีการใช้ ฉีดพ่น		

ผลการวัดประสิทธิภาพปอด	FVC	FEV ₁	VC
ครั้งที่ 1	2.56	0.89	-
ครั้งที่ 2	1.08	0.59	-
ค่าที่ใช้	2.56	0.89	1.33

แบบบันทึกข้อมูลผู้ป่วย

ชื่อ นางสาวภี นามสกุล เกตุสวัสดิ์ ที่อยู่ปัจจุบัน 128/1 หมู่ 1 ตำบลยางสูง อำเภอชาดบุรีศรีนครนิคม จังหวัดกำแพงเพชร 62130 อาชีพปัจจุบัน แม่บ้าน ระดับการศึกษา ม.2 สถานภาพ <input type="checkbox"/> โสด <input checked="" type="checkbox"/> แต่งงาน <input type="checkbox"/> หย่าร้าง สาเหตุที่ได้รับสารพิษ <input checked="" type="checkbox"/> มาด้วยตัว <input type="checkbox"/> ได้รับโดยไม่ตั้งใจ <input type="checkbox"/> จากการสัมผัส <input type="checkbox"/> อื่นๆ (ระบุ) ปริมาณที่ได้รับ 5 ml ปีที่ได้รับ 2541 ชื่อผลิตภัณฑ์ - หลังจากได้รับการรักษามีการใช้ Paraquat หรือไม่ <input type="checkbox"/> ใช้ <input checked="" type="checkbox"/> ไม่ใช้ ชื่อผลิตภัณฑ์ ระยะเวลาที่ใช้ ปริมาณที่ใช้ วิธีการใช้	<input type="checkbox"/> ชาย <input checked="" type="checkbox"/> หญิง อายุ 14 ปี น้ำหนัก 60 กก. ส่วนสูง 159 ซม. ประวัติการสูบบุหรี่ <input type="checkbox"/> สูบ <input checked="" type="checkbox"/> ไม่สูบ จำนวนต่อวัน ระยะเวลาที่สูบ โรคประจำตัว <input type="checkbox"/> Asthma <input type="checkbox"/> COPD <input type="checkbox"/> Emphysema <input type="checkbox"/> Pneumonia <input type="checkbox"/> Tuberculosis <input type="checkbox"/> Chronic bronchitis <input type="checkbox"/> อื่นๆ (ระบุ)
--	---

ผลการวัดประสิทธิภาพปอด	FVC	FEV ₁	VC
ครั้งที่ 1	1.67	0.64	-
ครั้งที่ 2	1.43	0.54	-
ค่าที่ใช้	1.67	0.64	1.92