แนวทางการตรวจสมรรถภาพปอด
๑. สไปโรเมตรีย์
Guidelines for Pulmonary Function Tests
1. Spirometry

โดย สมาคมอุรเวชช์แห่งประเทศไทย

เนื้อหา

1. บทนำ
    1.1 ที่มาและความจำเป็น
    1.2 วัตถุประสงค์ของแนวทางการตรวจสมรรถภาพปอด
    1.3 ประเภทของการตรวจสมรรถภาพปอด
2. สไปโรเมตรีย์
    2.1 คำจำกัดความ
    2.2 ข้อบ่งชี้
    2.3 ข้อห้าม
    2.4 ภาวะแทรกซ้อน
3. ชนิดของ spirometer
    3.1 Volume-displacement spirometers
    3.2 Flow sensing spirometers
    3.3 Portable devices
    3.4 คุณสมบัติในการเลือก spirometer
4. วิธีการตรวจ
    4.1 ขั้นตอนการทำ spirometry
    4.2 Acceptability criteria
    4.3 Reproducibility criteria
    4.4 การคัดเลือก spirogram เพื่อการแปลผล
    4.5 ปัญหาที่พบ
5. การแปลผล
    5.1 ค่าคาดคะเน

5.2 ขั้นตอนการแปลผล

5.3 การจำแนกความรุนแรง

5.4 การตอบสนองต่อยาขยายหลอดลม

6. มาตรฐานของเครื่องมือและการควบคุมคุณภาพ

6.1 หลักเกณฑ์ การเลือกเครื่องมือ

6.2 การควบคุมคุณภาพ

7. Appendices

7.1 ตารางที่ 1 **เกณฑ์มาตรฐานของเครื่อง** spirometer

7.2 ตารางที่ 2 **Conversion factors from ATPS to BTPS**

7.3 ตารางที่ 3 สมการคำนวณค่าคาดคะเน (predicted values) ของสมรรถภาพปอดในประชากรไทย

7.4 ตารางที่ 4. ค่าคาดคะเน (predicted values) ของสมรรถภาพปอดในประชากรไทยแยกตามเพศ, ส่วนสูงและอายุ

8. Further readings

1. บทนำ

1.1 ที่มาและความจำเป็นของแนวทางการตรวจสมรรถภาพปอด

การตรวจสมรรถภาพปอด (Pulmonary Function Tests) เป็นการตรวจที่สำคัญและมีประโยชน์อย่างยิ่งในกระบวนการวินิจฉัย, ประเมินและติดตามผลการรักษาโรคระบบการหายใจ เช่น โรคหืด, โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง, โรคปอดจากการทำงาน เป็นต้น นอกจากนี้การตรวจสมรรถภาพปอดยังสามารถบ่งถึงการเสื่อมของการทำงานของปอดก่อนที่อาการแสดงทางคลินิกจะเริ่มปรากฏ เนื่องจากปอดเป็นอวัยวะที่มีความสามารถสำรองสูง อาการเหนื่อยจึงมักปรากฏหลังจากพยาธิสภาพในปอดเกิดขึ้นมากแล้ว

สำหรับประเทศไทย ระดับความสนใจและการใช้ประโยชน์ของการตรวจสมรรถภาพปอดยังไม่กว้างขวาง และยังไม่มีเกณฑ์มาตรฐานที่แน่นอน นอกจากนี้จำนวนบุคลากรที่มีความรู้ ความสามารถในการตรวจได้ถูกต้องยังมีจำนวนจำกัด สาเหตุดังกล่าวเกิดขึ้นเนื่องจาก

1. **ด้านการตรวจ** การตรวจสมรรถภาพปอดเป็นการตรวจที่ต้องอาศัยความร่วมมือของผู้ป่วยอย่างมากในการออกแรงเป่าอย่างเต็มที่ (maximal effort) การสูดลมและการเป่าต้องทำทางปากซึ่งไม่ใช่สิ่งที่คุ้นเคยสำหรับคนส่วนใหญ่ นอกจากนั้นจังหวะในการสูดลมและการเป่ามีความสำคัญมากเช่นเดียวกัน
2. **ด้านผู้ควบคุมการตรวจ** (technician) จำเป็นต้องมีความเข้าใจ ความชำนาญ และประสบการณ์ ในการตรวจ ผลการตรวจจึงจะเป็นที่น่าเชื่อถือ
3. **ด้านเครื่องมือตรวจ** ในปัจจุบันเครื่องทดสอบสมรรถภาพปอดมีอยู่จำนวนมาก จึงเป็นการยากสำหรับผู้ที่มิได้ปฏิบัติงานอยู่ในสาขานี้ที่จะติดตาม จึงเกิดปัญหาในการเลือกซื้อ และเลือกใช้ให้ถูกต้อง และสอดคล้องกับความต้องการและวัตถุประสงค์ของการใช้งาน

จากเหตุผลดังกล่าว จึงทำให้มาตรฐานการตรวจสมรรถภาพปอดในประเทศไทยมีความแตกต่างกันมาก ซึ่งจะทำให้เกิดผลเสียที่สำคัญ คือไม่สามารถเปรียบเทียบผลการตรวจจากแหล่งต่างๆ ได้อย่างมั่นใจ และถูกต้อง

1.2 วัตถุประสงค์ของแนวทางการตรวจสมรรถภาพปอด

จากปัจจัยดังกล่าวข้างต้น คณะทำงานของสมาคมอุรเวชช์แห่งประเทศไทย จึงได้ร่วมกันร่างแนวทางการตรวจสมรรถภาพปอดนี้ โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อเสริมสร้างความรู้และความเข้าใจของการตรวจสมรรถภาพปอด แก่ บุคลากรทุกระดับที่เกี่ยวข้อง ตั้งแต่ แพทย์ พยาบาล นักวิทยาศาสตร์ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติการตรวจ และดูแลรักษาเครื่องตรวจสมรรถภาพปอด และหวัง

ว่าแนวทางการตรวจสมรรถภาพปอดนี้จะเป็นจุดเริ่มต้นที่สำคัญในการยกระดับมาตรฐานการตรวจสมรรถภาพปอดในประเทศไทย ต่อไป

1.3 ประเภทของการตรวจสมรรถภาพปอด

ด้วยเหตุที่ปอดเป็นอวัยวะที่มีโครงสร้าง และหน้าที่ซับซ้อน การตรวจสมรรถภาพปอดจึงมีวิธีการและเครื่องมือที่ใช้ตรวจหลายชนิด โดยสรุปที่สำคัญ ได้ดังนี้

1. **สไปโรเมตรีย์** (Spirometry) เป็นการตรวจวัดปริมาตรของอากาศที่หายใจเข้าและออกจากปอด เป็นการทดสอบสมรรถภาพปอดที่ใช้บ่อยที่สุด เพราะทำได้ง่าย ให้ข้อมูลที่มีประโยชน์ เชื่อถือได้ดีและใช้เครื่องมือที่ไม่ซับซ้อน
2. **การวัดปริมาตรความจุของปอด** (Static lung volumes) เป็นการวัดปริมาตรและความจุส่วนต่างๆ ของปอด ซึ่งวัดไม่ได้ด้วยการทำ spirometry เช่น residual volume, functional residual capacity, total lung capacity ฯลฯ วิธีการตรวจซับซ้อนมากขึ้น และเครื่องมือที่ใช้มีราคาแพงและต้องการความชำนาญในการใช้ วิธีที่นิยมคือ closed circuit helium dilution และ body plethysmography
3. **ความจุการซึมซ่าน คาร์บอนมอน็อกไซด์** (Diffusing capacity for carbon monoxide: DLco) เป็นการทดสอบกระบวนการซึมซ่านในปอด ซึ่งมี 2 ขั้นตอน คือ ตอนหนึ่งผ่านเยื่อบุถุงลม และผนังหลอดเลือดฝอย และอีกตอนหนึ่งซึมเข้าเม็ดเลือดแดง วิธีการตรวจอาจใช้วิธี single breath, steady state หรือ fractional CO-uptake ประโยชน์ ของ DLco คือ ช่วยแยกโรคถุงลมโป่งพอง จาก หลอดลมอักเสบเรื้อรัง โดย ค่า DLco จะลดลงในโรคถุงลมโป่งพองเนื่องจากมีความผิดปกติที่ผนังถุงลมและหลอดเลือดฝอยในปอด นอกจากนี้ DLco จะลดลงใน interstitial lung diseases ทุกชนิด
4. **การทดสอบภาวะหลอดลมไวเกินไม่จำเพาะ** (Nonspecific bronchial hyperresponsiveness) โดยการใช้ histamine หรือ methacholine มีประโยชน์ในการวินิจฉัยโรคหืด ที่ไม่สามารถวินิจฉัยให้แน่นอนได้ด้วยวิธีอื่น รวมทั้ง spirometry การทดสอบนี้ ควรทำในห้องปฏิบัติการที่ชำนาญ เพราะอาจเป็นอันตรายต่อผู้ป่วยได้
5. **การตรวจความต้านทานในทางเดินอากาศหายใจ** (Airway resistance) วัดได้โดยใช้ body plethysmography ผู้ป่วยโรคหืด หรือ โรคปวดอุดกั้นเรื้อรังจะมี ความต้านทานในทางเดินอากาศหายใจ สูงขึ้น ข้อมูลส่วนนี้ มักใช้ในงานวิจัย มากกว่าในเวชปฏิบัติ ทั่วไป

6. **การตรวจความไวของศูนย์การหายใจ** (Respiratory center sensitivity) ศูนย์การหายใจอาจมีความไวต่อสิ่งเร้า หรือสิ่งกระตุ้น ได้แก่ คาร์บอนไดอ็อกไซด์ หรือ อ๊อกซิย์เจน เปลี่ยนแปลงไป วิธีทดสอบทำได้โดยวัดปริมาตรอากาศหายใจเข้าออกเมื่อกระตุ้นด้วย คาร์บอนไดอ็อกไซด์ ข้อมูลส่วนนี้ มักใช้ในงานวิจัย มากกว่าในเวชปฏิบัติทั่วไป
7. **การวิเคราะห์ก๊าซในเลือดแดง** ระดับก๊าซในเลือดแดงช่วยบอกถึงความผิดปกติในการแลกเปลี่ยนก๊าซเกี่ยวกับการรับ อ๊อกซิย์เจน และการกำจัด คาร์บอนไดอ๊อกไซด์
8. **การทดสอบการออกกำลัง** (Cardiopulmonary exercise testing) เป็นการทดสอบที่ซับซ้อน และยุ่งยากมากขึ้น โดยทั่วไปไม่มีความจำเป็นและไม่ได้ช่วยในการวินิจฉัยโรค นอกจากในกรณี ผู้ป่วยโรคปอดอุดกั้นเรื้อรังบางรายที่กำลังพิจารณาให้การรักษาด้วย อ๊อกซิย์เจน ระยะยาว หรือในรายที่จะเริ่มการฝึกออกกำลังซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการรักษา หรือเพื่อหาสาเหตุร่วมของอาการเหนื่อยง่ายในผู้ป่วย ว่ามีสาเหตุหลักที่ระบบการหายใจ หรือ ระบบไหลเวียนเลือด

แนวทางการตรวจสมรรถภาพปอด นี้ จะกล่าวในรายละเอียดเฉพาะในส่วนที่เกี่ยวกับ spirometry เนื่องจากเป็นการตรวจที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมาก โดยใช้งบประมาณที่ไม่สูงจนเกินไป และความผิดปกติของสมรรถภาพปอดที่ตรวจพบจาก spirometry สามารถนำไปสู่การตรวจอื่น ๆ ที่จำเป็นต่อไป

2. สไปโรเมตรีย์

2.1 คำจำกัดความ

spirometry หมายถึงการตรวจสมรรถภาพปอดโดยวัดปริมาตรของอากาศที่หายใจเข้าและออกจากปอด เครื่องมือที่ใช้วัดเรียกว่า spirometer กราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและเวลาเรียกว่า spirogram (รูปที่ 1)

การตรวจวัดที่ได้จากการทำ spirometry ประกอบด้วย :

- SVC (slow vital capacity) เป็นประมาตรสูงสุดของอากาศที่หายใจออกอย่างช้า ๆ จนสุดจากตำแหน่งที่หายใจเข้าเต็มที่ มีหน่วยเป็นลิตรที่อุณหภูมิที่กาย, แรงดันบรรยากาศซึ่งอิ่มตัวด้วยไอน้ำ (BTPS)
- FVC (forced vital capacity) เป็นปริมาตรสูงสุดของอากาศที่หายใจออกอย่างเร็วและแรงเต็มที่จนสุดจากตำแหน่งที่หายใจเข้าเต็มที่ มีหน่วยเป็นลิตรที่ BTPS ในภาวะปกติ

FVC จะมีค่าเท่ากับ SVC แต่ FVC จะน้อยกว่า SVC เมื่อมีการอุดกั้นทางเดินอากาศหายใจหรือเมื่อผู้ทำการทดสอบไม่พยายามเต็มที่

- **FEV_1 (forced expiratory volume in one second)** เป็นปริมาตรของอากาศที่ถูกขับออกในวินาทีแรกของการหายใจออกอย่างเร็วและแรงเต็มที่ จากตำแหน่งหายใจเข้าเต็มที่ FEV_1 นี้มีค่าเป็นลิตร และที่ BTPS เช่นเดียวกัน FEV_1 นี้เป็นข้อมูลที่ใช้บ่อยที่สุดในการตรวจสมรรถภาพปอด
- **FEV_1/FVC** คำนวณได้จากการนำค่า FEV_1 หารด้วย FVC และคูณด้วย 100 หน่วยเป็นเปอร์เซนต์ เรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่า percent FEV_1 ($\%FEV_1$) เป็นข้อมูลดีที่สุดที่แสดงถึงการอุดกั้น ของหลอดลม
- **$FEF_{25-75\%}$ (forced expiratory flow at 25 – 75% of FVC)** เป็นค่าเฉลี่ยของอัตราการไหลของอากาศในช่วงกลางของ FVC มีหน่วยเป็นลิตรต่อวินาที หรือลิตรต่อนาที ที่ BTPS การทดสอบนี้มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงในหลอดลมขนาดเล็กที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางต่ำกว่า 2 มม. ข้อเสียคือ reproduce สู้ FEV_1 ไม่ได้ มีความจำเพาะต่ำ และจะยากต่อการแปลผล ในกรณีที่มีการลดลงของ FEV_1 หรือ FVC
- **PEF (peak expiratory flow)** เป็นอัตราการไหลของอากาศหายใจออกที่สูงที่สุด จะเกิดขึ้นในช่วงต้นของการหายใจออกอย่างเร็วและแรงเต็มที่จาก ตำแหน่งหายใจเข้าเต็มที่ มีหน่วยเป็นลิตรต่อนาทีหรือ ลิตรต่อวินาที ที่ BTPS ค่า PEF นี้อาจจะวัดได้ด้วยเครื่องมือที่เรียก Wright peak flow meter หรือ peak flow meter อื่น ๆ เช่น mini – Wright ซึ่งมีราคาถูกกว่าและมีขนาดกระทัดรัด

นอกจากนี้อัตราการไหลของอากาศ อาจวัดเป็นสัดส่วนกับปริมาตรเรียกว่า flow-volume curve (รูปที่ 2) ซึ่งสามารถบันทึกได้ทั้งในช่วงหายใจเข้าและหายใจออก จึงอาจเรียกเป็น flow-volume loop ลักษณะของ flow-volume curve นี้จะ reproducible ในผู้ป่วยแต่ละคน และจะแตกต่างกันระหว่างโรคปอดชนิดต่างๆ (รูปที่ 3) flow-volume curve นี้จะประเมินความพยายามของผู้ป่วยในการทดสอบได้ชัดเจนกว่า spirogram

ค่าต่างๆ ที่ได้จากการทดสอบ spirometry ต้องรายงานที่อุณหภูมิกายและแรงดันบรรยากาศ ซึ่งอิ่มตัวด้วยไอน้ำ หรือที่ BTPS หากไม่ได้รายงานที่ BTPS ค่าที่ได้จะต่ำกว่าความเป็นจริง (ดูท้ายบทความ)

2.2 ข้อบ่งชี้ของการทำสไปโรเมตรีย์

2.2.1 เพื่อการวินิจฉัยโรค

1. ในผู้ที่มีอาการ, อาการแสดง หรือผลการตรวจทางห้องปฏิบัติการที่ผิดปกติ ซึ่งอาจเกิดจากโรคระบบการหายใจ ได้แก่ อาการเหนื่อย ไอ หายใจมีเสียงหวีดหวือ เจ็บหน้าอก หรือ ตรวจร่างกายพบเสียงหายใจผิดปกติ ทรวงอกผิดรูปหรือ ภาพรังสีทรวงอกผิดปกติ ความเข้มข้นของเม็ดเลือดแดงเพิ่มขึ้น หรือ ตรวจพบออกซิเจนในเลือดแดงต่ำ หรือ คาร์บอนไดออกไซด์สูง เป็นต้น
2. ในรายที่เป็นโรคที่มีผลต่อการทำงานของระบบหายใจ เพื่อประเมินความรุนแรง
3. ในผู้ที่มีปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดโรคระบบการหายใจ ได้แก่ สูบบุหรี่ อาชีพที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคปอดจากการประกอบอาชีพ เช่น ทำงานเหมืองแร่ ฯลฯ
4. ประเมินความเสี่ยงในการเกิดภาวะแทรกซ้อนด้านระบบหายใจในผู้ป่วยก่อนการผ่าตัด

2.2.2 **ติดตามการรักษาหรือการดำเนินโรค**

1. ติดตามผลการรักษา ได้แก่ ผลของยาขยายหลอดลมในผู้ป่วยที่มีการอุดกั้นของหลอดลม ประเมินผลของยาสเตียรอยด์ในผู้ป่วยหืดหรือ interstitial lung disease เป็นต้น
2. ติดตามการดำเนินโรค เช่น ผู้ป่วยที่มีการอุดกั้นของหลอดลม, interstitial lung disease, neuromuscular disease เช่น Guillain-Barre syndrome
3. ติดตามผู้ป่วยที่มีอาชีพเสี่ยงต่อการเกิดโรคระบบหายใจจากการประกอบอาชีพเสี่ยงต่อการเกิดโรคระบบหายใจจากการประกอบอาชีพ
4. ติดตามผลข้างเคียงของยาที่มีผลต่อระบบการหายใจ เช่น amiodarone

2.2.3 **ประเมินความทุพพลภาพ** ในผู้ป่วยที่เกิดโรคจากการทำงาน ประเมินความเสี่ยง เพื่อทำประกันสุขภาพ

2.2.4 **การสำรวจสุขภาพชุมชน และ การศึกษาทางระบาดวิทยา**

2.3 **ข้อห้ามในการทำสไปโรเมตรีย์**

1. ไอเป็นเลือด
2. ภาวะลมรั่วในช่องเยื่อหุ้มปอดที่ยังไม่ได้รับการรักษา
3. ระบบหลอดเลือดหรือหัวใจทำงานไม่คงที่ ได้แก่ ความดันโลหิตสูง ที่ยังไม่ได้รับการรักษาหรือควบคุมได้ไม่ดี, ความดันโลหิตต่ำ, recent myocardial infarction หรือ pulmonary embolism
4. เส้นเลือดแดงโป่ง (aneurysm)ในทรวงอก ,ท้องหรือสมอง

5. เพิ่งได้รับการผ่าตัดตา เช่น ผ่าตัดลอกต้อกระจก
6. เพิ่งได้รับการผ่าตัด ช่องอก หรือช่องท้อง
7. ติดเชื้อในระบบทางเดินหายใจ เช่น วัณโรคปอดระยะติดต่อ
8. สตรีมีครรภ์ (ยกเว้นในบางรายที่จำเป็น)
9. ผู้ที่อาการเจ็บป่วยที่อาจมีผลต่อการทดสอบสไปโรเมตรีย์ เช่น คลื่นไส้หรือ อาเจียนมาก

2.4 ภาวะแทรกซ้อนจากทำสไปโรเมตรีย์

แม้ว่าการตรวจสไปโรเมตรีย์เป็นการตรวจที่ค่อนข้างปลอดภัย แต่อาจพบภาวะแทรกซ้อนได้บ้างดังต่อไปนี้

1. ความดันในกระโหลกศีรษะเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจทำให้เกิดอาการปวดศีรษะ เป็นต้น
2. เวียนหัว, มึนงง และในบางรายอาจมีอาการหมดสติได้
3. อาการไอ
4. หลอดลมตีบ โดยเฉพาะใน ผู้ป่วยหืด หรือ ปอดอุดกั้นเรื้อรัง ที่ยังควบคุมอาการไม่ได้ดี
5. เจ็บหน้าอก
6. ภาวะลมรั่วในช่องเยื่อหุ้มปอด
7. ขาดอ็อกซิย์เจน จากการหยุดให้ชั่วคราวระหว่างการตรวจ
8. การติดเชื้อ

3. ชนิดของ Spirometer

spirometer แบ่งตามลักษณะของการทำงานได้ 2 แบบคือ

3.1 Volume-displacement spirometers ใช้หลักการแทนที่ของสสารแล้ววัดปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงไป โดยอาศัย

- การเคลื่อนที่ของถัง (bell) : water-sealed spirometer (รูปที่ 4)
- กระบอกสูบ (piston) : dry rolling seal spirometer (รูปที่ 5)
- เครื่องเป่าไฟหรือเครื่องเสียง (bellow) : bellow spirometer (รูปที่ 6)

โดยทั่วไป spirometer ในกลุ่มนี้ จะใช้งานง่าย, มีความแม่นยำสูง ดูแลรักษาง่าย และสามารถบันทึกผลการตรวจที่ได้ลงในแผ่นบันทึกถาวรซึ่งสามารถทำการตรวจสอบดูความถูกต้องในภายหลังได้ ข้อเสียของ spirometer กลุ่มนี้ก็คือ ขนาดซึ่งใหญ่ทำให้เคลื่อนย้ายลำบาก, ทำ

ความสะอาดและฆ่าเชื้อ (disinfect) ได้ยาก และความเร็วของการบันทึกจะไม่ไวพอที่จะทดสอบ PEF ได้

3.2 Flow sensing spirometers

ด้วยความก้าวหน้าทางอีเล็กโทรนิคส์และ microprocessor ทำให้มีการพัฒนา spirometer ให้มีขนาดเล็ก และเคลื่อนย้ายสะดวก flow sensing spirometer นี้จะอาศัย sensor ที่บันทึกอัตราการไหล (flow) และจะคำนวณเปลี่ยนแปลงสัญญาณนั้น ให้เป็นปริมาตรอย่างรวดเร็ว flow sensor ที่ใช้บ่อยได้แก่ sensor ที่วัด อัตราการไหลโดย :

- อาศัยความแตกต่างของความดันที่ลดลงเมื่อผ่านวัสดุที่มีแรงต้าน เช่น Fleisch pneumotach หรือ orifice
- การเย็นลงของลวดที่ร้อน เช่น hot wire pneumotach
- นับรอบการหมุนของกังหันและคำนวณหาความเร็วของลม เช่น turbine pneumotach

ในปัจจุบัน spirometer ชนิดนี้ได้รับความนิยมมาก เนื่องจากเครื่องจะคำนวณค่าต่าง ๆ ที่ต้องการโดยอัตโนมัติ , เครื่องจะพิจารณาถึงคุณภาพและการยอมรับได้ของการทดสอบแต่ละครั้งตามเกณฑ์มาตรฐานบันทึกและเก็บข้อมูล, คำนวณค่าคาดคะเนที่ต้องการ , และให้ผลการทดสอบซึ่งจะพิมพ์และเก็บไว้เป็นหลักฐานได้ทั้ง spirogram และ flow-volume curve คุณสมบัติเหล่านี้ ร่วมกับขนาดที่เล็ก เคลื่อนย้ายได้สะดวก รวมทั้งการดูแลทำนุบำรุงได้ง่าย ทำให้เครื่องมือนี้ได้รับการยอมรับ และเป็นที่นิยมมากขึ้น

ผลการทดสอบ ทั้ง spirometer กลุ่มนี้ขึ้นอยู่กับความคงตัว (stability) ของ sensor และการ calibrate เครื่องมือ รวมทั้งการแก้ไขปริมาตรและอัตราการไหลที่ได้เป็น BTPS (ดูท้ายบทความ) เครื่องมือชนิดนี้เมื่อใช้ติดต่อกันเป็นเวลานานในผู้ป่วยจำนวนมาก ๆ ความแม่นยำของ calibration จะเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากมีละอองน้ำและความชื้นเพิ่มขึ้นที่ sensor

3.3 Portable devices

เครื่อง spirometer ขนาดเล็ก ถูกนำมาใช้มากขึ้นในการติดตามสมรรถภาพปอด และในการติดตามผลการรักษาในผู้ป่วย เช่นโรคหืด ส่วนใหญ่ให้ผลการทดสอบที่เชื่อถือได้ในการติดตามเป็นอนุกรม (serial monitoring) ในผู้ป่วยแต่ละราย แต่ความถูกต้องแม่นยำอาจมีปัญหาได้ เครื่อง spirometer ขนาดเล็กและพกพานี้เหมาะสำหรับใช้เป็นส่วนตัว สามารถวัดมาตรต่าง ๆ รวมทั้ง PEF ได้ เช่นเดียวกับ spirometer ทั่วไป ใช้แบตเตอรี่ในการทำงาน นอกจากนี้ยังสามารถจำข้อ

มูลซึ่งจะนำไปบันทึกพิมพ์ผลการทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์ต่อไปได้ ข้อเสียคือบอบบาง และชำรุดเสียหายง่าย เมื่อได้รับการกระแทกหรือตกหล่น

3.4 คุณสมบัติในการพิจารณาเลือก spirometer

spirometer ที่เลือกซื้อควรมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

- ควรเข้าเกณฑ์มาตรฐานของสถาบัน หรือองค์กรซึ่งเป็นที่ยอมรับ เช่น American Thoracic Society (ATS), European Respiratory Society (ERS) ฯลฯ
- ใช้งานง่าย
- ปลอดภัยและมีประสิทธิภาพดี
- calibrate ง่าย
- ทนทาน
- ต้องการ maintenance น้อย
- มีกราฟ และค่าบันทึกผลการทดสอบที่สามารถเก็บไว้ถาวรได้
- ใช้ sensor ที่ disposable หรือทำความสะอาดฆ่าเชื้อง่าย
- บริษัทที่จำหน่ายเชื่อถือได้ในด้านการบริการหลังการขาย รวมทั้งการฝึกอบรมการใช้เครื่องมือในระยะแรก
- มีคู่มือการใช้เครื่อง, การ calibrate , รวมทั้งการดูแลรักษาที่สมบูรณ์ และเข้าใจง่าย
- สามารถใช้ค่า คาดคะเนที่ต้องการได้ โดยเฉพาะค่าคาดคะเนที่ได้จากการสำรวจในคนไทย
- ราคาเหมาะสม

4. วิธีการตรวจ

4.1 ขั้นตอนการทำ spirometry

4.1.1 การเตรียมผู้ป่วย

เมื่อผู้ป่วยมานัดเพื่อทำการตรวจสมรรถภาพปอด ควรได้ รับคำแนะนำดังต่อไปนี้

1. ไม่ออกกำลังกายอย่างน้อย 30 นาทีก่อนตรวจ
2. ไม่ควรสวมเสื้อที่รัดทรวงอกและท้อง
3. หลีกเลี่ยงอาหารมื้อใหญ่ อย่างน้อย 2 ชั่วโมง
4. หยุดยาขยายหลอดลม

สำหรับยา β_2 – agonist และ anticholinergic ชนิดสูด ควรงดอย่างน้อย 6-8 ชั่วโมงก่อนทำการตรวจ ส่วนยา β_2 – agonist ออกฤทธิ์ยาวชนิดรับประทาน, salmeterol, theophylline ควรหยุดอย่างน้อย 12 ชั่วโมง สำหรับยา theophylline ชนิดออกฤทธิ์ยาวควรหยุดอย่างน้อย 24 ชั่วโมงก่อนทำการตรวจ แต่ถ้าผู้ป่วยไม่สามารถหยุดยาได้ หรือใช้ยาก่อนมารับการตรวจสมรรถภาพปอด โดยเฉพาะยา β_2 – agonist ชนิดสูดควรบันทึกเวลาที่ใช้ว่าห่างจากเวลาที่ได้รับการตรวจนานเท่าใด เมื่อผู้ป่วยมารับการตรวจควรให้นั่งพักอย่างน้อย 15 นาที ซักประวัติการใช้ยาที่อาจมีผลต่อการตรวจสมรรถภาพปอดโดยเฉพาะยาขยายหลอดลม บันทึกข้อมูลที่ใช้ในการตรวจ เช่น เพศ, อายุ, ส่วนสูง อาการต่างๆ ที่มีผลต่อการตรวจ เช่น อาการเจ็บปวดต่าง ๆ ถ้าเป็นไปได้ควรให้ผู้ป่วยงด น้ำชา,กาแฟ หรือเครื่องดื่มที่มีคาเฟอีนอย่างน้อย 2 ชั่วโมง และงดทำในผู้ป่วยที่เสพสุราหรือสิ่งเสพติด กรณีผู้ป่วยสูบบุหรี่ควรให้งดบุหรี่อย่างน้อย 2 ชั่วโมง

สิ่งที่สำคัญในการวัดส่วนสูงคือ ต้องวัดในท่าที่ถูกต้อง เพราะถ้าไม่ถูกต้องอาจทำให้ได้ค่าผิดพลาดหลายเซ็นติเมตรได้ ท่าที่ถูกต้องคือ ยืนส้นเท้าชิดกัน พยายามให้ส้นเท้า, น่อง, ก้นและหลังชิดกับเครื่องวัด หนังตาล่างของผู้ป่วยต้องอยู่ในระดับเดียวกับรูหู สำหรับผู้ป่วยที่กระดูกสันหลังผิดรูป เช่น คด การวัด arm span จะได้ค่าที่ถูกต้องมากกว่า โดยกางแขนออกทั้ง 2 ข้างในท่าหงายฝ่ามือในแนวขนาน วัดความยาวจากปลายนิ้วที่ยาวที่สุดถึงปลายนิ้วอีกข้างหรืออาจกางแขนซ้ายออกไปในท่าหงายฝ่ามือ แล้ววัดจากปลายนิ้วที่ยาวที่สุด มาถึงกึ่งกลางของกระดูกหน้าอกตรง sternal notch แล้วคูณ 2

4.1.2 การอธิบายและสาธิตวิธีการทดสอบ

การอธิบายและสาธิตวิธีการทดสอบที่ถูกต้อง และเป็นขั้นตอน มีความสำคัญมาก แม้ว่าผู้ป่วยจะเคยได้รับการทดสอบมาก่อนแล้วก็ตาม จะได้เกิดความคุ้นเคย ไม่ประหม่า เพื่อที่จะได้ค่าของการตรวจที่มีประสิทธิภาพ

เจ้าหน้าที่ควรจะแนะนำและสาธิตวิธีการทดสอบให้ผู้มารับการตรวจทราบก่อน ดังขั้นตอนต่อไปนี้:

นั่งตัวและหน้าตรง เท้าทั้งสองข้างแตะกับพื้น

↓

หนีบจมูกด้วย nose clip

↓

หายใจเข้าเต็มที่(จนถึง total lung capacity)

↓

อม mouthpiece และปิดปากให้แน่นรอบ mouthpiece

↓

หายใจออกให้เร็วและแรงเต็มที่จนหมด (จนถึง residual volume)

↓

สูดหายใจเข้าเต็มที่
สำหรับเครื่องที่ทำ flow volume loop ได้

↓

ทำซ้ำให้ได้กราฟที่เข้าเกณฑ์อย่างน้อย 3 กราฟ
โดยสามารถทำซ้ำได้ไม่เกิน 8 ครั้ง

↓

ตรวจสอบดูว่าเข้าเกณฑ์ acceptability & reproducibility หรือไม่

4.2 Acceptability criteria

1. **เริ่มต้นถูกต้อง** โดยหายใจเข้าจนสุดแล้วเป่าออกให้เร็วและแรง การดูว่าทำถูกต้องหรือไม่ดูจากกราฟปริมาตร-เวลา ซึ่งต้องมี extrapolated volume น้อยกว่า 5% ของ FVC หรือ 0.15 ลิตร แต่สำหรับเครื่อง spirometer ปัจจุบันคอมพิวเตอร์จะคำนวณให้

2. **หายใจออกได้เต็มที่** โดยดูจากกราฟปริมาตร-เวลา ซึ่งเวลาในการหายใจออกต้องนานเพียงพอ ซึ่งอย่างน้อยที่สุดคือ 6 วินาที และมี plateau อย่างน้อย 1 วินาที หรือมีเวลาหายใจออกน้อยกว่า 6 วินาที แต่มี plateau อย่างน้อย 1 วินาที และจะต้องไม่มีอาการไอ, การรั่วออกของลมขณะเป่าหรือมีสิ่งไปอุด mouthpiece เช่นลิ้น ฟันปลอม (รูปที่ 7,8)

4.3 Reproducibiity criteria

เลือกกราฟที่ได้ acceptability criteria อย่างน้อย 3 กราฟมาพิจารณา reproducibility โดยจะถือว่า reproducibility เมื่อค่าของ FVC ที่มากที่สุด ต่างจากค่า FVC ที่มีค่ารองลงมา ไม่เกิน 200 มล. และค่า FEV_1 ที่มากที่สุดต่างจากค่า FEV_1 ที่รองลงมาไม่เกิน 200 มล. เช่นเดียวกัน

4.4 การคัดเลือก spirogram เพื่อการแปลผล

หลักการคัดเลือกผลที่ได้จากการตรวจเพื่อนำมาใช้ในการแปลผลนั้นต้องผ่านขั้นตอนตามลำดับดังนี้ คือ ต้องได้ acceptability criteria ก่อน โดยดูจาก spirogram และ flow-volume

curve ให้ได้ตามเกณฑ์ข้อ 4.2 แล้วจึงนำกราฟที่ได้ acceptability criteria มาพิจารณาว่ามี reproducibility criteria หรือไม่โดยใช้เกณฑ์ข้อ 4.3 เมื่อพบว่ามี reproducibility criteria จึงนำผลที่ได้มาทำการคัดเลือกค่าเพื่อการแปลผลต่อไปดังนี้

1. The best FVC เลือกจากกราฟที่มีค่า FVC มากที่สุด
2. The best FEV_1 เลือกจากกราฟที่มีค่า FEV_1 มากที่สุด
3. ค่าอื่นๆ เช่น $FEF_{25-75\%}$ ให้เลือกจาก the “best test” curve ซึ่งคือกราฟที่มีค่าผลรวมของ FEV_1 กับ FVC มากที่สุด ในกรณีที่ค่า FEV_1 และ FVC ที่สูงสุดไม่ได้มาจากกราฟเดียวกัน

หมายเหตุ ในทางปฏิบัติที่ไม่ใช่งานวิจัย เพื่อความสะดวกอาจวิเคราะห์เพียงกราฟเดียว ควรจะเลือกกราฟที่มีค่าผลรวมของ FEV_1 กับ FVC มากที่สุด

4.5 ปัญหาที่พบ

4.5.1 ปัญหาจากผู้ป่วย

ปัญหาที่พบบ่อยในการทดสอบ FVC ที่มีสาเหตุมาจากผู้ป่วย ได้แก่

- เป่าไม่เต็มที่
- มีลมรั่วรอบ ๆ mouthpiece
- หายใจเข้าหรือหายใจออกไม่สุด
- เริ่มต้นเป่าช้าหรือลังเล
- ไอระหว่างการเป่า โดยเฉพาะในช่วงวินาทีแรก
- ลิ้นไปอุด mouthpiece
- มีการปิดของ glottis
- ทำไม่ถูกต้อง

4.5.2 ปัญหาจากเครื่องมือ

ปัญหาที่พบบ่อยในการทดสอบที่มีสาเหตุมาจากเครื่องมือ จะขึ้นอยู่กับชนิดของ spirometer เช่นใน volume-displacement spirometers อาจมีการรั่วที่สายต่อต่าง ๆ หรือ ถ้าเป็นชนิดที่มี kymograph เพื่อหมุนกระดาษ ก็จะต้องรอให้กระดาษหมุนด้วยความเร็วที่ต้องการก่อนที่จะให้ผู้ป่วยเริ่มเป่า สำหรับ flow-sensing spirometers นั้นจะต้องให้ความสำคัญกับการ calibration

5. การแปลผล

5.1 ค่าคาดคะเน (Predicted normal values)

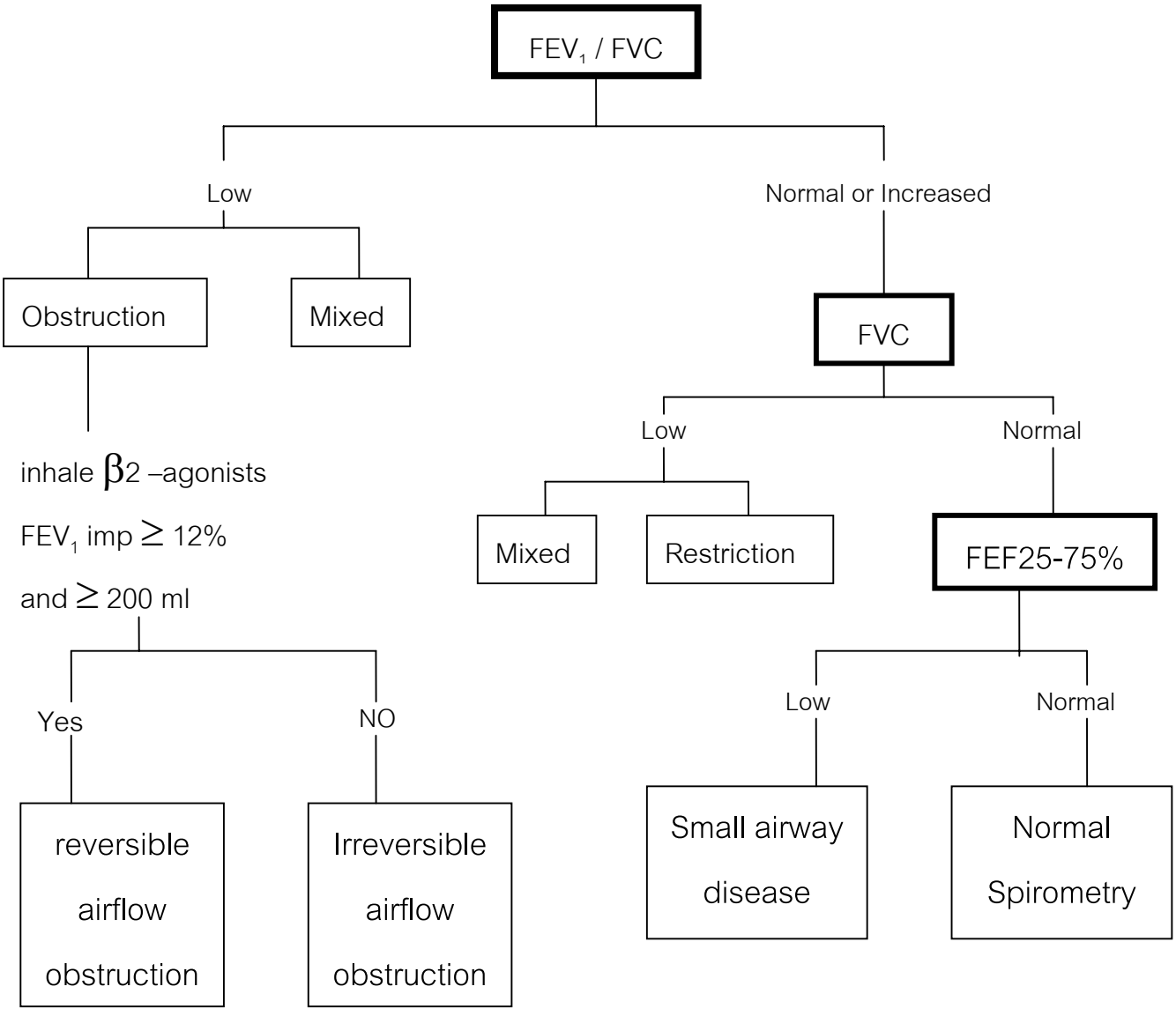
ค่าที่วัดได้จากการทำ spirometry จะเปรียบเทียบกับค่าคาดคะเนของคนปกติที่มีความสูง,อายุ, เพศ และเชื้อชาติเดียวกับผู้ป่วยนั้น ๆ

ค่า คาดคะเนที่ใช้กันทั่วไป ได้แก่

1. สมการ “ศิริราช” ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานสมรรถภาพปอดในคนไทย
2. Knudson ของอเมริกา, Quanjer ของยุโรป ฯลฯ ซึ่งจะต้องลดค่าต่าง ๆ ลง ร้อยละ 10-15
3. Lam ซึ่งเป็นค่าปกติของคนจีนในฮ่องกง

ค่าคาดคะเนปกติที่ใช้ในการแปลผลในคนไทยแนะนำให้ใช้ค่ามาตรฐานสมรรถภาพปอดที่ได้จากการศึกษาในประชากรไทย *ตามตารางที่ 3 ท้ายบท* ค่าปกติที่เคยใช้กันส่วนใหญ่เป็นค่าที่ได้จากชนผิวขาว (caucasian) เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่าในชาวเอเชียค่าเฉลี่ยเหล่านี้จะต่ำกว่าชาวผิวขาวที่มีอายุ, เพศและความสูงเท่ากัน ร้อยละ 10-15

5.2 ขั้นตอนการแปลผล



สามารถแยกความผิดปกติของ spirometry ออกได้เป็น obstructive defect และ restrictive defect โดยอาศัยค่า FEV_1,FVC และ FEV_1/FVC%

- Obstructive defect เช่น asthma,COPD จะมี FEV_1 ลดลง และ FEV_1/FVC% ลดลง ในกรณีที่มีการอุดกั้นมาก ๆ และมีอากาศถูกขังอยู่ในปอดมากขึ้น ค่า FVCจะลดลงได้
- Restrictive defect เช่น interstitial lung disease, myasthenia gravis, kyphoscoliosis จะมีปริมาตรของปอดลดลง แต่อัตราการไหลของลมหายใจออกจะอยู่ในเกณฑ์ปกติ ดังนั้นแม้ค่า FEV_1 และ FVC จะลดลง แต่ FEV_1/FVC% จะปกติหรือเพิ่มขึ้น

5.3 การจำแนกความรุนแรงของความผิดปกติ

	FVC (%ค่าคาดคะเน)	FEV_1 (%ค่าคาดคะเน)	FEV_1/FVC (%)	FEF25-75% (%ค่าคาดคะเน)
Normal	>80	>80	>70*	>65
Mild	66-80	66-80	60-70	50-65
Moderate	50-65	50-65	45-59	35-49
Severe	<50	<50	<45	<35

หมายเหตุ *กรณีผู้ป่วยอายุน้อยกว่า 50 ปีใช้ค่า >75%

รูปร่างหรือลักษณะของ flow-volume curve จะมีความแตกต่างกันระหว่าง obstructive และ restrictive defects นอกจากนี้การพิจารณา flow-volume loop ที่มีช่วงหายใจเข้าด้วยนั้นจะช่วยในการวินิจฉัยภาวะ upper airway obstruction (รูปที่6)

5.4 การทดสอบการตอบสนองต่อยาขยายหลอดลม (reversibility test)

ให้ผู้ป่วย สูดยาขยายหลอดลม β2 –agonist ผ่านทางกระบอกสูดยา (spacer) โดยใช้ยาขยายหลอดลม 2 puffs (เช่น salbutamol 200 μg , terbutaline 500 μg) วิธีการทำ ให้กดยาขยายหลอดลม 1 puff เข้า spacer แล้วให้ผู้ป่วยสูดยาจาก spacer โดยค่อย ๆ หายใจเข้าจนสุด

แล้วกลั้นไว้ ประมาณ 5-10 วินาที หรือให้นับ 1-10 แล้วหายใจออก เสร็จแล้วสูดอีก 1 ครั้ง หลังจากนั้นกดยาขยายหลอดลม อีก 1 puff ทำเช่นเดียวกับครั้งแรก เสร็จแล้วให้ผู้ป่วยพัก ประมาณ 15 นาที จึงค่อยมาทำการตรวจสมรรถภาพปอดซ้ำ ตามขั้นตอนข้างต้นซึ่งจะได้ค่าสมรรถภาพปอดหลังได้ยาขยายหลอดลม (post-bronchodilator spirometry)

การคำนวณทำดังนี้

$$\text{Percent reversible} = \frac{FEV_1\text{หลังใช้ยา} - FEV_1\text{ก่อนใช้ยา}}{FEV_1\text{ก่อนใช้ยา}} \times 100$$

ถ้า Percent reversible มีค่าตั้งแต่ 12% ขึ้นไป ร่วมกับมีค่า FEV_1เพิ่มขึ้นตั้งแต่ 200 ม.ล. ให้ถือว่าการอุดกั้นของหลอดลม เป็นชนิด reversible

6. มาตรฐานของเครื่องมือและการควบคุมคุณภาพ

มาตรฐานของการตรวจสมรรถภาพปอดด้วยเครื่อง spirometer ถือว่ามีความจำเป็นและสำคัญอย่างยิ่งสำหรับผู้ที่ทำงานเกี่ยวข้องกับการตรวจสมรรถภาพปอด เนื่องจากถ้าข้อมูลที่ได้ไม่ถูกต้องอาจก่อให้เกิดผลเสียต่อผู้ที่มารับการตรวจ ดังนั้นจึงต้องมีการตรวจสอบและควบคุมให้ได้มาตรฐานทุกขั้นตอน ตั้งแต่การเลือกเครื่อง spirometer ที่จะนำมาใช้ในการตรวจสมรรถภาพปอดซึ่งต้องได้มาตรฐาน เช่นตามคำแนะนำของ American Thoracic Society (ATS) ในระหว่างการใช้งานต้องมีการควบคุมคุณภาพของเครื่อง spirometer ให้ทำงานถูกต้องอยู่ตลอดเวลา นอกจากนี้วิธีการทดสอบที่ถูกต้องของผู้ที่มารับการตรวจ รวมทั้งการเลือกข้อมูลที่ถูกต้อง จะนำไปสู่การแปลผลที่ถูกต้องต่อไป ซึ่งทุกขั้นตอนถือว่ามีความสำคัญ และจำเป็นที่ผู้ปฏิบัติงานด้านนี้จะต้องทราบ

6.1 หลักเกณฑ์การเลือกเครื่องมือ

spirometer ที่เลือกใช้ควรได้มาตรฐานเช่นตามที่ ATS แนะนำ (ตารางที่ 1) ซึ่งก่อนซื้อควรขอข้อมูลจากบริษัทที่จัดจำหน่ายว่าเครื่องมือได้เกณฑ์ มาตรฐานที่แนะนำไว้ หรือไม่ โดยต้องพิจารณาผลของข้อมูลจากห้องปฏิบัติการที่ต่าง ๆกันร่วมด้วย

6.2 การควบคุมคุณภาพ

การพัฒนาคุณภาพของการตรวจวัดสมรรถภาพการทำงานของปอด เพื่อให้ได้ผลการตรวจที่มีคุณภาพอยู่ในมาตรฐานเป็นที่ยอมรับ และนำไปให้อ้างอิงในห้องปฏิบัติการอื่น ๆ ได้ประกอบด้วย

1. คุณภาพด้านบุคลากร
2. คุณภาพของเครื่องมือ
3. คุณภาพด้านสุขอนามัย

6.2.1 **คุณภาพด้านบุคลากร**

บุคลากรผู้ทำการตรวจสมรรถภาพการทำงานของปอดจำเป็นต้องได้รับการฝึกอบรมและแนะนำเกี่ยวกับวิธีการใช้เครื่องอย่างละเอียด และถูกต้องตามหลักวิชา เพราะนอกจากจะต้องเป็นผู้ใช้เครื่องแล้วยังต้องดูแล ทำความสะอาดเครื่อง ตลอดจนคอยแก้ไขปัญหา ต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้น เพื่อให้เครื่อง spirometer อยู่ในสภาพที่สมบูรณ์ ให้ผลการตรวจวัดที่ถูกต้อง แม่นยำ และได้มาตรฐาน ตลอดอายุการใช้งานของเครื่อง

สิ่งที่เจ้าหน้าที่ควรปฏิบัติ ได้แก่

1. ศึกษาคู่มือการใช้งานของเครื่องอย่างละเอียด
2. ทำการ calibration เครื่องอย่างถูกต้องตามวิธี เป็นประจำ
3. ทำการตรวจวัดว่าต่าง ๆ ตามวิธี อย่างเคร่งครัด ถูกต้องและแม่นยำ
4. ควรมีการบันทึกความผิดปกติ สภาวะและการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่เกิดขณะทำการตรวจ กรณีมีความผิดปกติ ต้องตรวจสอบว่าเป็นความผิดปกติจริงหรือเกิดจากความไม่เข้าใจวิธีการตรวจ เพื่อประโยชน์ของแพทย์ในการวิเคราะห์ข้อมูล
5. ควรทำสมุดสำหรับบันทึกข้อมูลต่างๆ ของเครื่อง เช่น ค่า calibrate ของเครื่องในแต่ละครั้ง ปัญหาที่เกิดขึ้นกับเครื่องและวิธีการแก้ไข เพื่อเป็นข้อมูลในการแก้ปัญหาต่อไป
6. เพื่อส่งเสริมประสิทธิภาพในการตรวจ เจ้าหน้าที่ควรมีความรู้ ขั้นต่ำระดับมัธยมปลายหรือ เทียบเท่า
7. ห้องปฏิบัติการนั้น ๆควรมีการปฏิบัติงานอย่างสม่ำเสมอ และ หาข้อมูล ใหม่ ๆ ในการตรวจ เพื่อจะได้ พัฒนาความรู้ และความสามารถ
8. เจ้าหน้าที่ควรได้รับการฝึกอบรมจากสมาคมอุรเวชช์แห่งประเทศไทย หรือสถาบันที่สมาคมอุรเวชช์ ให้การรับรอง

6.2.2 **คุณภาพของเครื่องมือ**

การดูแลรักษาเครื่องตรวจสมรรถภาพการทำงานของปอดประกอบด้วยการ ดูแลเกี่ยวกับมาตรฐานการทำงานของเครื่อง การทำความสะอาดเครื่อง และการควบคุมคุณภาพการทำงานของเครื่อง เพื่อให้ได้ผลการตรวจที่มีความถูกต้องแม่นยำและได้มาตรฐาน

1) Calibration

เพื่อให้ได้ค่าต่าง ๆ ที่ถูกต้อง แม่นยำ และได้มาตรฐาน จะต้องมีการ calibrate เครื่องเป็นประจำ การ calibrate เป็นการปรับค่าต่าง ๆ เพื่อความแม่นยำและถูกต้องของเครื่อง โดยเทียบกับค่ามาตรฐาน การ calibrate เครื่องมีความสำคัญมาก จะต้อง calibrate ทั้งค่าปริมาตรและการจับเวลาของเครื่อง เป็นประจำ

หลักของการ calibrate เครื่อง มีดังนี้

- Calibrate เครื่อง ก่อนการใช้งานทุกวัน อย่างน้อยวันละครั้ง
- หากมีการใช้งานติดต่อกันเป็นเวลานาน ต้อง calibrate เครื่องทุก 4 ชั่วโมง
- ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ, ความกดอากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ก็ต้องคอยเปลี่ยนค่าต่าง ๆ เหล่านี้ในเครื่องด้วย ซึ่งหลังจากการเปลี่ยนค่าแล้วจะต้องทำการ calibrate เครื่องใหม่ทุกครั้ง
- ควรจะมีการตรวจสอบเครื่องด้วยการตรวจวัดค่าต่าง ๆ ของเครื่องจากคนปกติที่ทราบค่าต่างๆ อยู่แล้ว เปรียบเทียบกับเครื่อง spirometer อื่น ๆ ภายในห้องปฏิบัติการเดียวกัน แต่ต่างห้องปฏิบัติการ อย่างน้อยสัปดาห์ละครั้ง เพื่อเป็นการตรวจสอบความ แม่นยำ

*2) **วิธีการ** calibrate **เครื่อง** spirometer*

1. เปิดเครื่อง
2. ใส่ค่า วัน เดือน ปี
3. ใส่ค่าอุณหภูมิ ความกดดันของอากาศ และค่าความชื้นสัมพัทธ์ ของอากาศในห้องที่ทำการตรวจในขณะนั้น
4. ใช้กระบอกสูบสำหรับ calibrate ปริมาตร 3 ลิตร ต่อเข้ากับเครื่อง ทำการตรวจวัดค่าปริมาตร (โดยการดูที่ค่า FVC หรือ VC ที่หน้าจอ) ทำการสูบอากาศเข้าเครื่องอย่างน้อย 3 ครั้ง ด้วยความเร็วของการสูบที่แตกต่างกัน เช่น ประมาณ 1 วินาที, ประมาณ 6 วินาที และระหว่าง 2-6 วินาที
5. สำหรับค่าปริมาตรที่อ่านได้ แปรปรวนได้ไม่เกิน ร้อยละ 3 ของปริมาตรที่ใช้ในการ calibrate เช่น ถ้าใช้ปริมาตร 3 ลิตร ค่าที่ได้ควรจะอยู่ระหว่าง 2.91 ถึง 3.09 ลิตร
6. พิมพ์ค่าที่ calibrate ได้ในแต่ละครั้งเก็บเข้าแฟ้มไว้

7. ถ้าค่าที่ได้มีความแปรปรวนเกินกว่าร้อยละ 3 ให้กลับไป calibrate ตามในข้อ 4-5 ใหม่ จนกว่าจะได้ค่าที่ถูกต้อง

3) การ calibrate เครื่องจับเวลาของ spirometer

ทำได้โดยการตรวจสอบการจับเวลาของเครื่อง เทียบกับนาฬิกาจับเวลาที่ได้มาตรฐาน ควรตรวจสอบอย่างน้อย 3 เดือนต่อครั้ง และให้มีค่าแปรปรวนได้ไม่เกิน 1 %

4) การดูแลทำความสะอาด

เครื่องตรวจวัดสมรรถภาพการทำงานของปอดควรดูแลรักษาความสะอาดอยู่ตลอดเวลา โดยวิธีการทำความสะอาด spirometer แต่ละเครื่องจะมีความแตกต่างกันบ้างตามชนิดของเครื่อง ทั้งนี้สามารถศึกษารายละเอียดได้จากหนังสือคู่มือการใช้งานของเครื่องนั้นๆ ซึ่งจะกล่าวไว้อย่างละเอียดถึงการดูแลรักษา และทำความสะอาดเครื่อง โดยทั่วไป

6.2.3 การควบคุมคุณภาพด้านสุขอนามัย

เพื่อสุขอนามัยของผู้ป่วยที่เข้ารับการตรวจ และของเจ้าหน้าที่ที่ทำการตรวจจึงควรระมัดระวังการติดเชื้อโรคจากผู้ป่วยไปยังผู้ป่วยอื่น ๆ และไปยังผู้ทำการตรวจด้วย เครื่องตรวจสมรรถภาพปอดเป็นอุปกรณ์ที่ปลอดเชื้อ แต่ถ้าไม่ให้ความระมัดระวังที่ดีพอก็อาจจะเป็นแหล่งแพร่กระจายของเชื้อโรคได้ ดังนั้นในการตรวจวัดสมรรถภาพปอดควรทำในที่ที่มีอากาศถ่ายเทที่ดี เพื่อจะได้ไม่เป็นที่สะสมของเชื้อโรค และการใช้ spirometer ก็ควรยึดหลัก universal precautions เอาไว้ด้วย เพื่อป้องกันการแพร่กระจายของเชื้อโรคไปสู่ผู้ป่วยอื่น

การแพร่กระจายของเชื้อโรคที่อาจเกิดระหว่างการตรวจสมรรถภาพปอด อาจเกิดจากการสัมผัสกับเชื้อโรคที่ติดอยู่กับ mouth piece หรือท่อส่วนต้น ๆ ควรระวังการติดเชื้อในระหว่างการตรวจสมรรถภาพปอด ซึ่งได้แก่การติดเชื้อของระบบทางเดินหายใจส่วนต้น, ตับอักเสบจากไวรัส บี , การติดเชื้อ HIV , วัณโรคปอด ฯลฯ ซึ่งต้องให้ความสำคัญ และควรมีมาตรการในการป้องกันและระมัดระวังเป็นอย่างดี

การป้องกันการแพร่กระจายของเชื้อโรค

1. ห้องที่ทำการตรวจวัดสมรรถภาพการทำงานของปอดควรอยู่ที่ที่มีอากาศถ่ายเทได้ดี ในห้องที่มีการระบายของอากาศไม่ดีควรพิจารณาติด HEPA filter

2. ควรล้างมือให้สะอาดหลังการตรวจผู้ป่วยทุกครั้ง และหลังจากการสัมผัสกับ mouth piece ที่ใช้แล้ว หรือสัมผัสกับผนังด้านในของท่อและอุปกรณ์ต่าง ๆ ของเครื่อง หรืออาจใช้การสวมถุงมือเพื่อป้องกันการติดเชื้อ
3. หลีกเลี่ยงการแพร่กระจายของเชื้อโรคโดยการเปลี่ยน mouth piece ทุกครั้งสำหรับผู้ป่วยแต่ละราย พิจารณาการใช้ filter
4. อุปกรณ์เครื่องใช้ เช่น กระบอกเป่า ท่อต่อ ต่าง ๆ ตลอดจนตัวเครื่อง ควรทำความสะอาดและฆ่าเชื้ออย่างสม่ำเสมอ ด้วยวิธี disinfection หรือ sterilization
5. ในกรณีที่ไม่ต้องการทราบผลการตรวจขณะหายใจเข้า ควรให้ผู้ป่วยหายใจออกจาก spirometer เพียงอย่างเดียว ไม่ต้องให้ผู้ป่วยสูดหายใจเข้าโดยผ่านเครื่อง
6. ในกรณีที่ทราบแน่ชัดว่าเป็นผู้ป่วยติดเชื้อระบบการเดินหายใจ ก็อาจป้องกันโดยการใช้ผ้าปิดจมูก หากเป็นไปได้ควรทำในช่วงสุดท้ายของวัน หรือ สัปดาห์ เพื่อจะได้ พักการใช้ เครื่องไว้ระยะหนึ่ง และจะได้ถอดหัวเป่าและอุปกรณ์ต่าง ๆออกไปทำความสะอาดและฆ่าเชื้อโรค
7. โดยทั่วไปแล้วจะไม่ทำการตรวจวัดสมรรถภาพการทำงานของปอดในผู้ป่วยวัณโรคระยะลุกลาม และผู้ป่วยปอดอักเสบ

7. Appendices

ตารางที่ 1 เกณฑ์มาตรฐานของเครื่อง spirometer

Test	Range/Accuracy (BTPS)	Flow Range (L/s)	Time(s)	Resistance and Banck Pressure	Test Signal
VC	0.5 to 8 L ± 3% of reading or ± 0.050L. whichever is greater	Zero to 14	30		3-L Cal Syringe
FVC	0.5 to 8 L ± 3% of reading or ± 0.050L. whichever is greater	Zero to 14	15	Less than 1.5 $cmH_20/L/s$	24 Standard waveforms 3-L Cal Syringe
FEVt	0.5 to 8 L ± 3% of reading or ± 0.050L. whichever is greater	Zero to 14	1	Less than 1.5 $cmH_20/L/s$	24 standard waveforms
Time zero	The time point from which all FEVt measurements are taken			Back extrapolation	
PEF	Accuracy:±10% of reading or ±0.400L/s, whichever is greater Precision:±5% of reading or ±0.200L/s, whichever is greater	Zero to 14		Same as FEV_1	26 flow standard waveforms
FEF25-75%	7.0 L/s ±5% of reading or ±0.200L/s, whichever is greater	±14	15	Same as FEV_1	24 Standard waveforms
V	±14.0 L/s ±5% of reading or ±0.200L/s, whichever is greater	Zero to 14	15	Same as FEV_1	Proof from manufacture
MVV	250 L/min at TV of 2 L within ±10% of reading or ±15% L/min. whichever is greater	±14 ±3%	12 to 15	Pressure less than ±10 cm H20 at 2-L TV at 2.0 Hz	Sine wave pump

ตารางที่ 2. Conversion factors from ATPS to BTPS

SPIROMETER TEMPERATURE (Celsius)	SATURATED WATER VAPOUR (mmHg)	BTPS FACTOR
17	14.5	1.118
18	15.5	1.113
19	16.5	1.108
20	17.5	1.102
21	18.7	1.096
22	19.8	1.091
23	21.1	1.085
24	22.4	1.080
25	23.8	1.075
26	25.2	1.069
27	26.7	1.063
28	28.3	1.057
29	30.0	10.51
30	31.8	1.045
31	33.7	1.039
32	35.7	1.032

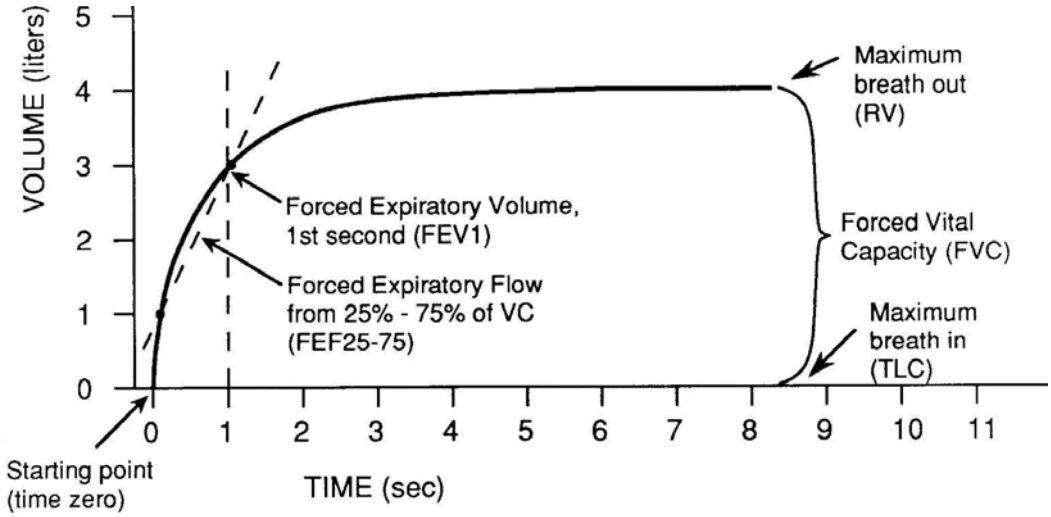
ตารางที่ 3. สมการคำนวณค่ามาตรฐานสมรรถภาพปอดในประชากรไทย

PARAMETERS		EQUATIONS*	R^2	SEE
FVC (L)	male	$-2.601+0.122A-0.00046A^2+0.00023H^2-0.00061AH$	0.67	0.4341
	female	$-5.914+0.088A+0.056H-0.0003A^2-0.0005AH$	0.62	0.3238
FEV1 (L)	male	$-7.697+0.123A+0.067H-0.00034A^2-0.0007AH$	0.70	0.3716
	female	$-10.6+0.085A+0.12H-0.00019A^2-0.00022H^2-0.00056AH$	0.68	0.2759
$FEF_{25-75\%}$ (L/s)	male	$-19.049+0.201A+0.207H-0.00042A^2-0.00039H^2-0.0012AH$	0.42	0.8828
	female	$-21.528+0.11A+0.272H-0.00017A^2-0.0007H^2-0.00082AH$	0.46	0.6642
PEF (L/s)	male	$-16.859+0.307A+0.141H-0.0018A^2-0.001AH$	0.44	1.5437
	female	$-31.355+0.162A+0.391H-0.00084A^2-0.00099H^2-0.00072AH$	0.29	1.1175
FEV1/FVC (%)	male	$19.362+0.49A+0.829H-0.0023H^2-0.0041AH$	0.24	5.3638
	female	$83.126+0.243A+0.084H+0.002A^2-0.0036AH$	0.22	4.9857

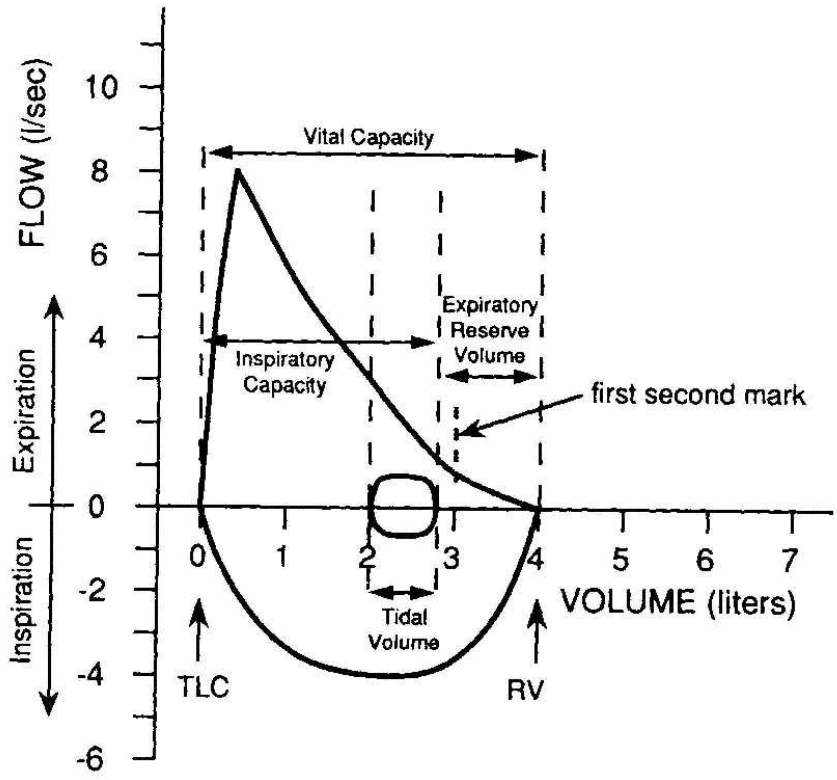
* A= age (y); H= height (cm.)

Source: *Dejsomritrutai W, Nana A, Maranetra N, et al. Reference spirometric values for healthy lifetime nonsmokers in Thailand. J Med Assoc Thai 2000; 83: 457-466.*

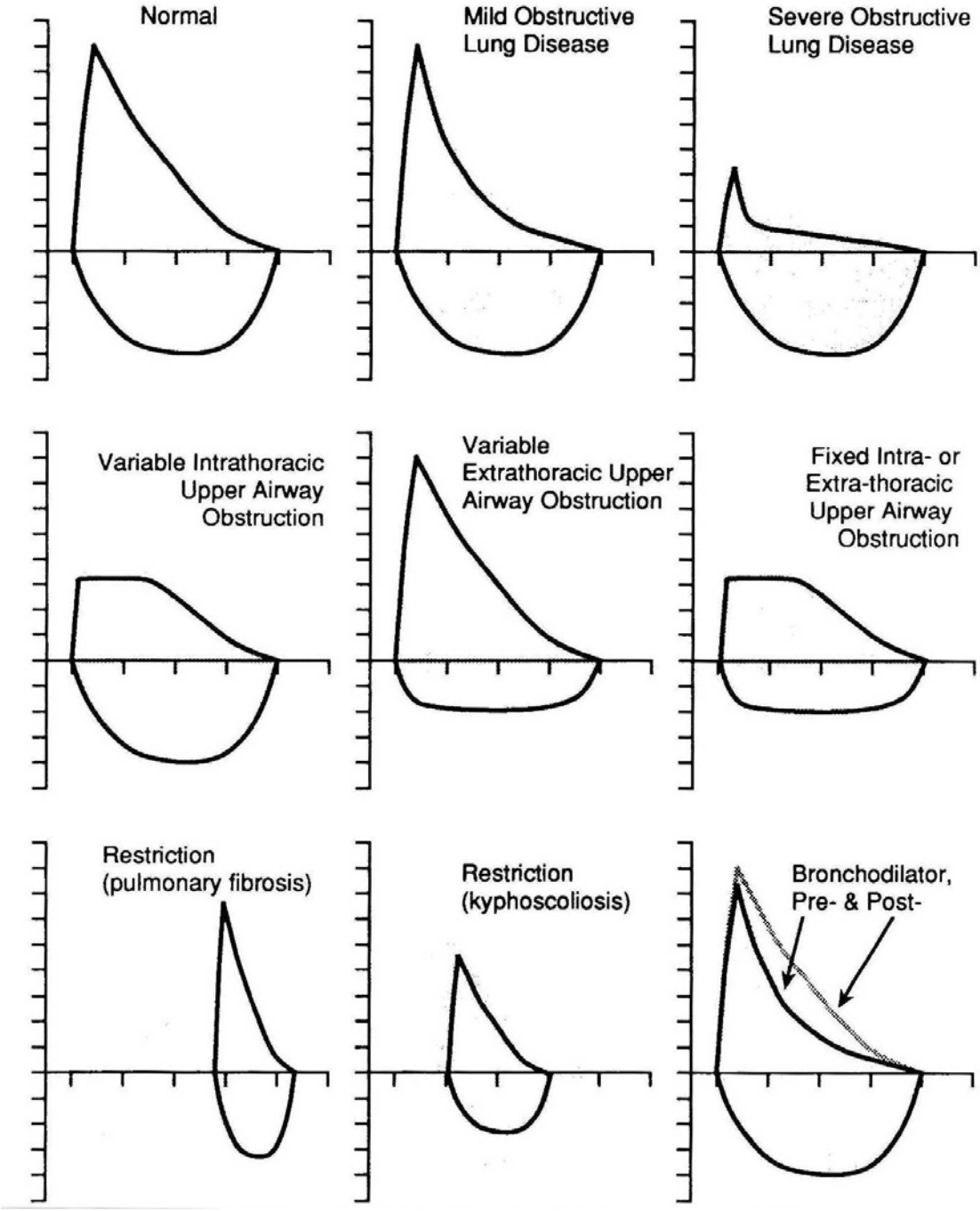
รูปที่ 1. Spirogram



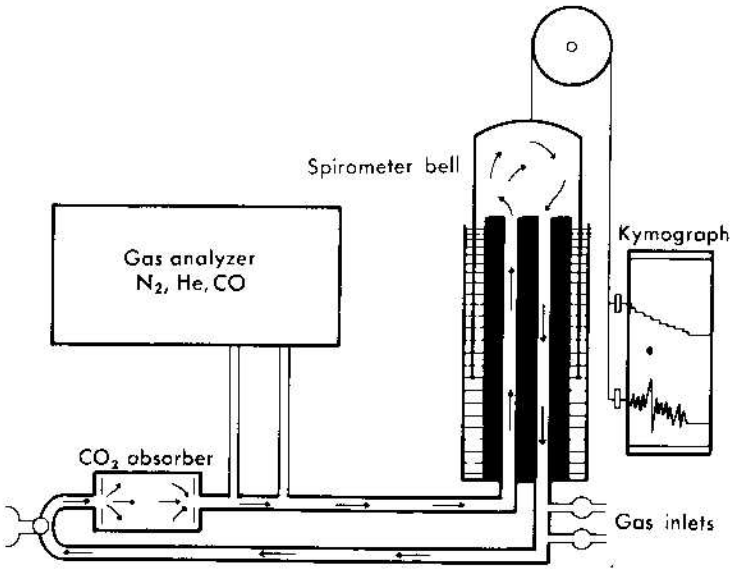
شکل 12 . Flow – volume curve



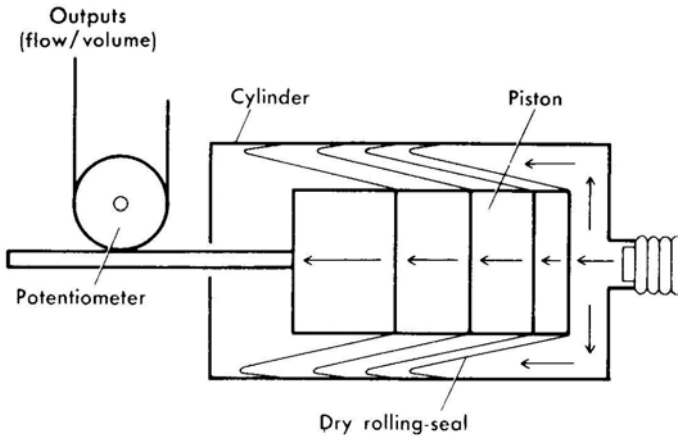
รูปที่ 3. Flow - volume loop ในกรณีต่าง ๆ รวมทั้ง upper airway obstruction

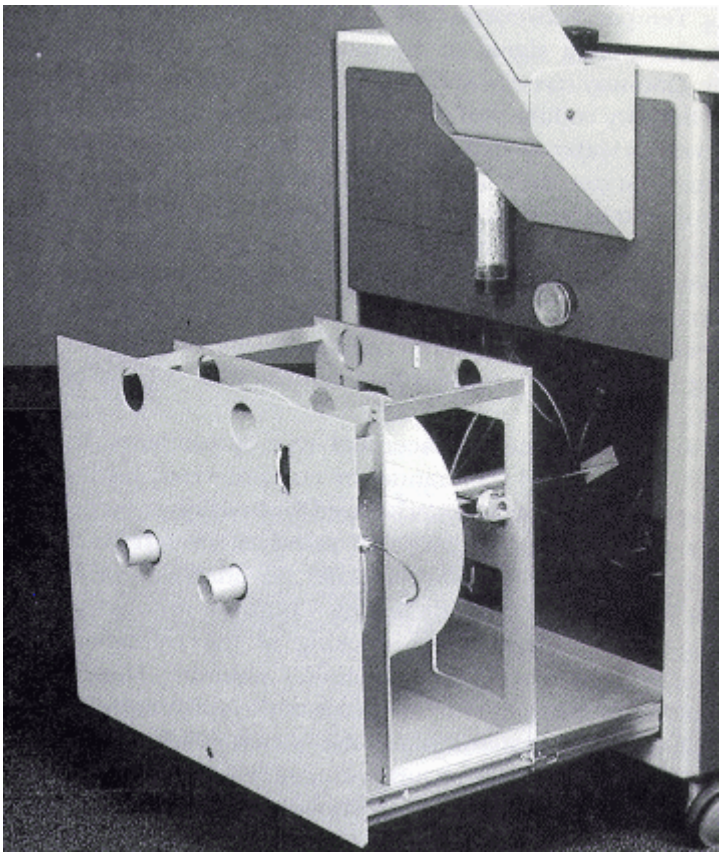


รูปที่ 4. Water – sealed spirometer

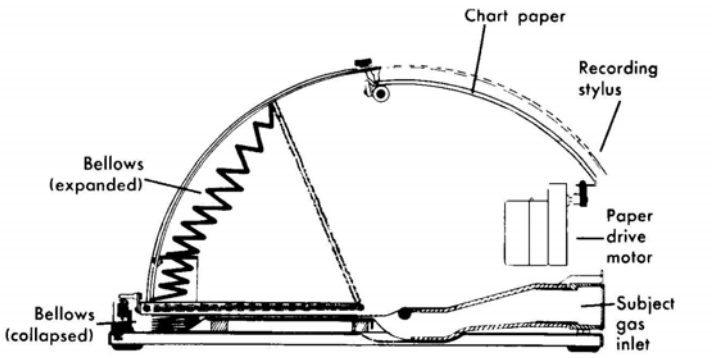


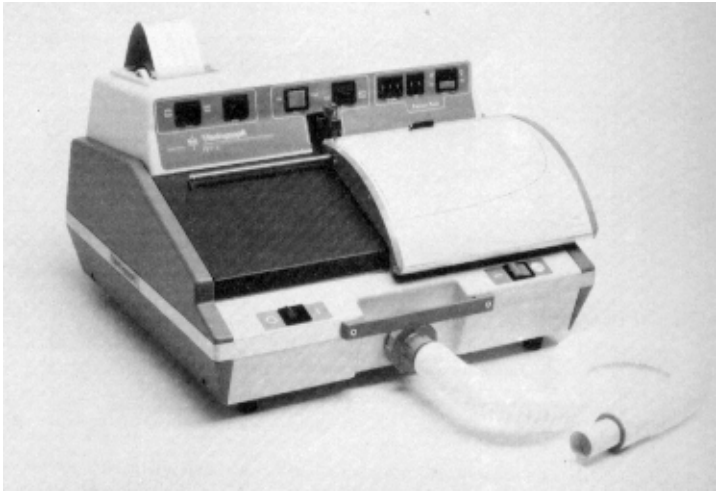
รูปที่ 5. Dry rolling seal spirometer



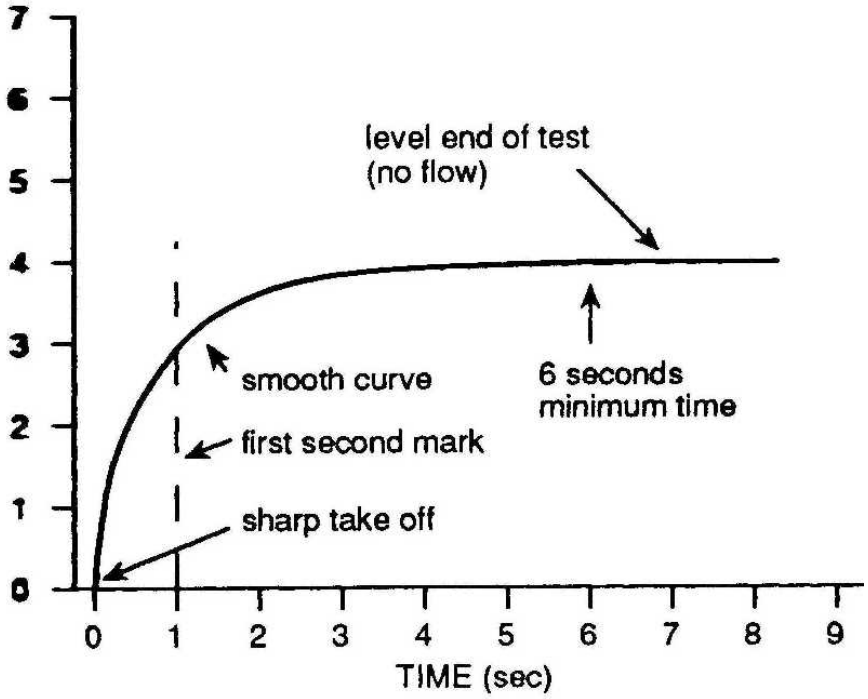


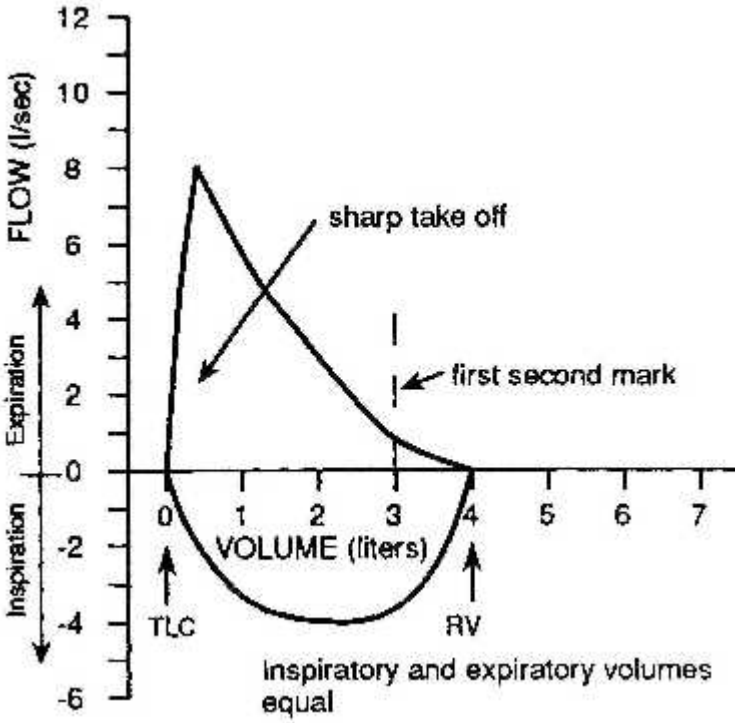
รูปที่ 6. Bellow spirometer



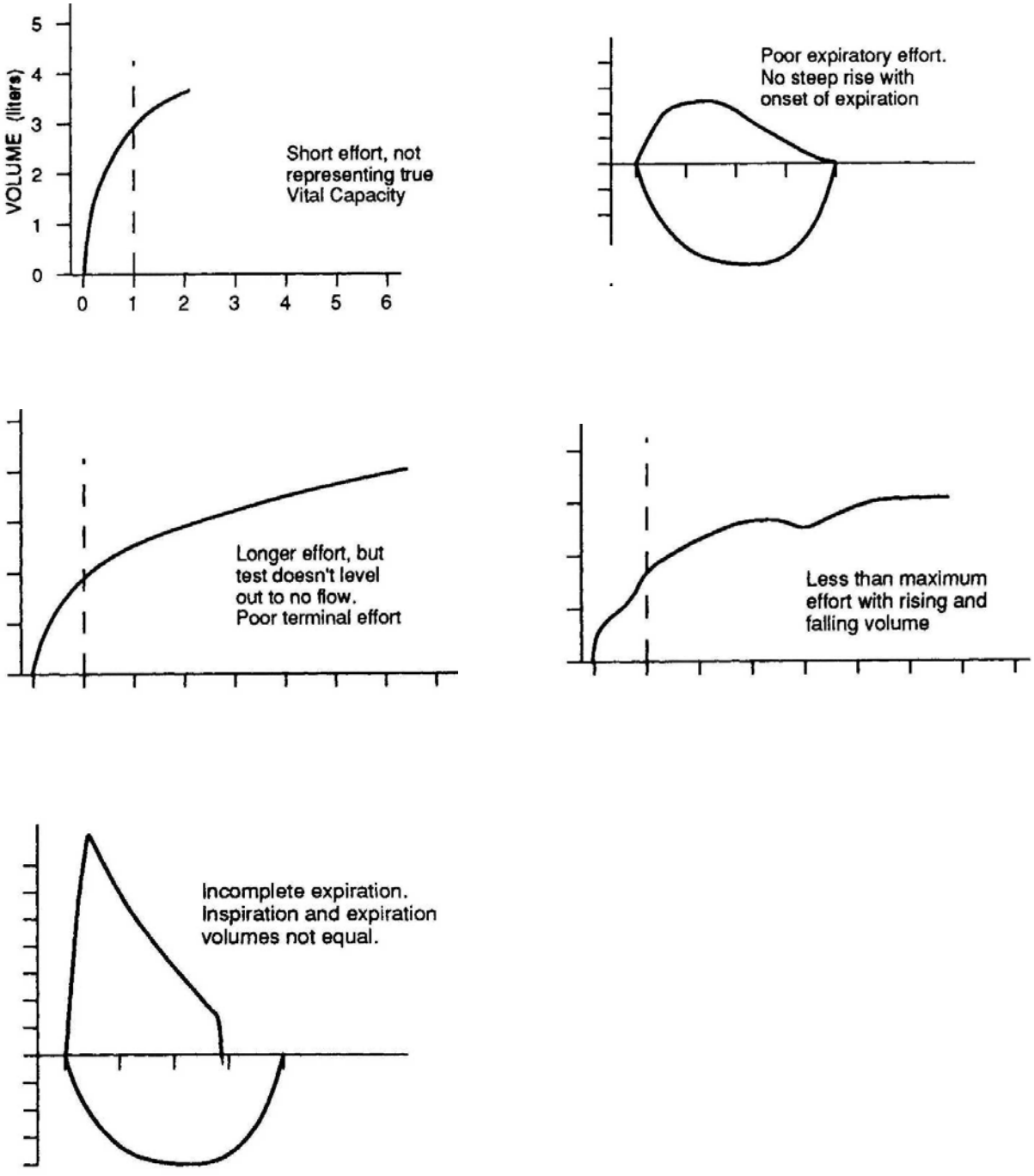


รูปที่ 7. ตัวอย่างของ acceptable curve





รูปที่ 8. ตัวอย่างของ unacceptable curve



8. Further readings

1. American Thoracic Society (ATS). Statement on standardisation of spirometry – 1994 update . Am J Respir Crit Care Med 1995;152:1107-39.
2. Quanjer PhH, Tammeling GJ, Cotes JE, et al. Standardized lung function testing. Eur Respir J 1993;6(suppl 16):1-100.
3. Crapo RO. Pulmonary function testing. N Engl J Med 1994;331:25-30.
4. Knudson RJ, Lebowitz MD, Holberg CJ, Burrows B. Changes in the normal maximal expiratory flow volume curve. Normal standards variability and effect of age. Am Rev Respir Dis 1976;113: 587-600.
5. Knudson RJ, Lebowitz MD, Holberg CJ, Burrows B. Changes in the normal maximal expiratory flow volume curve with growth and aging. Am Rev Respir Dis 1983;127:725-34.
6. Lam KK, Pang SC, Allan WGL, et al. A survey of ventilatory capacity in Chinese subjects in Hong Kong. Ann Hum Biol 1982;9:459-72.
7. Dejsomritrutai W, Nana A, Maranetra N, et al. Reference spirometric values for healthy life time nonsmokers in Thailand. J Med Assoc Thai 2000;83:457-66.

ตารางที่ 4. ค่าคาดคะเน (predicted values) ของสมรรถภาพปอดในประชากรไทยแยกตามเพศ, ส่วนสูงและอายุ

FVC(L): Male

Age (y)	Height (cm)								
	140	145	150	155	160	165	170	175	180
10	2.13	2.37	2.62	2.9	3.18	3.49	3.82	4.17	4.54
15	2.42	2.65	2.9	3.16	3.43	3.73	4.04	4.38	4.73
20	2.63	2.85	3.08	3.33	3.6	3.9	4.18	4.5	4.84
25	2.76	2.97	3.19	3.43	3.68	3.96	4.24	4.55	4.87
30	2.82	3.02	3.23	3.46	3.71	3.97	4.24	4.53	4.84
35	2.84	3.02	3.23	3.45	3.68	3.93	4.19	4.46	4.76
40	2.81	2.99	3.18	3.39	3.61	3.84	4.09	4.36	4.64
45	2.75	2.92	3.1	3.3	3.51	3.73	3.97	4.22	4.48
50	2.67	2.83	3.01	3.19	3.39	3.6	3.82	4.06	4.31
55	2.59	2.74	2.9	3.08	3.26	3.46	3.67	3.89	4.13
60	2.51	2.65	2.8	2.97	3.14	3.32	3.52	3.73	3.95
65	2.44	2.58	2.72	2.87	3.03	3.2	3.39	3.58	3.79
70	2.4	2.53	2.66	2.8	2.95	3.11	3.28	3.46	3.66
75	2.4	2.51	2.64	2.78	2.91	3.06	3.21	3.38	3.56

FEV_1(L): Male

Age	Height								
	140	145	150	155	160	165	170	175	180
10	1.83	2.06	2.31	2.58	2.86	3.17	3.49	3.83	4.19
15	2.1	2.31	2.53	2.77	3.03	3.3	3.58	3.89	4.21
20	2.28	2.47	2.67	2.88	3.11	3.35	3.6	3.88	4.16
25	2.38	2.55	2.73	2.92	3.12	3.34	3.57	3.81	4.06
30	2.41	2.56	2.73	2.9	3.08	3.27	3.47	3.68	3.91
35	2.38	2.52	2.67	2.82	2.98	3.15	3.33	3.52	3.72
40	2.3	2.43	2.56	2.7	2.85	3	3.16	3.32	3.5
45	2.17	2.29	2.42	2.54	2.68	2.82	2.96	3.11	3.26
50	2.02	2.13	2.25	2.37	2.49	2.62	2.75	2.88	3.02
55	1.84	1.95	2.06	2.17	2.29	2.41	2.53	2.65	2.77
60	1.65	1.76	1.87	1.98	2.09	2.2	2.31	2.42	2.54
65	1.45	1.56	1.67	1.78	1.89	2	2.11	2.22	2.32
70	1.27	1.38	1.49	1.61	1.72	1.83	1.93	2.04	2.14
75	1.1	1.22	1.34	1.45	1.57	1.68	1.79	1.89	1.99

FEV1/FVC (%): Male

Age (y)	Height (cm)								
	140	145	150	155	160	165	170	175	180
10	88.24	88.79	89.38	90	90.66	91.35	92.09	92.87	93.69
15	88.75	89.02	89.29	89.58	89.88	90.2	90.52	90.86	91.21
20	89.08	89.11	89.13	89.14	89.13	89.11	89.08	89.03	88.96
25	89.24	89.08	88.89	88.66	88.4	88.1	87.76	87.38	86.95
30	89.23	88.92	88.56	88.15	87.68	87.15	86.56	85.9	85.18
35	89.04	88.64	88.16	87.61	86.99	86.28	85.49	84.61	83.64
40	88.67	88.23	87.68	87.04	86.31	85.48	84.54	83.5	82.34
45	88.16	87.69	87.12	86.44	85.66	84.75	83.72	82.57	81.28
50	87.45	87.02	86.48	85.81	85.02	84.09	83.03	81.81	80.45
55	86.57	86.23	85.75	85.15	84.4	83.5	82.46	81.24	79.86
60	85.52	85.3	84.95	84.45	83.8	82.99	82.01	80.85	79.5
65	84.3	84.26	84.07	83.73	83.22	82.54	81.69	80.64	79.39
70	82.91	83.08	83.1	82.97	82.66	82.17	81.49	80.6	79.51
75	81.34	81.78	82.06	82.18	82.12	81.87	81.42	80.75	79.86

FEF25-75% (L/sec): Male

Age	Height								
	140	145	150	155	160	165	170	175	180
10	2.32	2.63	2.96	3.32	3.7	4.11	4.53	4.99	5.47
15	2.78	3.03	3.3	3.59	3.9	4.22	4.56	4.92	5.3
20	3.11	3.31	3.53	3.75	3.99	4.24	4.51	4.79	5.08
25	3.32	3.48	3.64	3.82	4	4.19	4.39	4.6	4.82
30	3.41	3.54	3.67	3.8	3.94	4.08	4.22	4.37	4.51
35	3.42	3.52	3.62	3.72	3.82	3.92	4.01	4.11	4.2
40	3.33	3.42	3.5	3.58	3.65	3.72	3.78	3.83	3.88
45	3.18	3.26	3.33	3.39	3.44	3.49	3.52	3.55	3.56
50	2.97	3.05	3.12	3.18	3.22	3.25	3.27	3.27	3.26
55	2.72	2.81	2.88	2.94	2.98	3.01	3.03	3.02	3
60	2.43	2.54	2.63	2.7	2.75	2.79	2.81	2.8	2.78
65	2.13	2.26	2.37	2.47	2.54	2.59	2.62	2.63	2.61
70	1.82	1.98	2.13	2.25	2.36	2.44	2.49	2.52	2.52
75	1.51	1.72	1.91	2.07	2.21	2.33	2.42	2.48	2.51

PEF (L/min): Male

Age	Height (cm)								
	140	145	150	155	160	165	170	175	180
10	249	282	315	348	381	414	446.4	479.4	512.4
15	282	342	374.4	406.8	438.6	471	502.8	535.2	567
20	342	386.4	418.2	449.4	480.3	511.8	543	573.6	604.8
25	386.4	417	447	477.6	507.6	538.2	567.6	597.6	627
30	417	435	464.4	493.8	522.6	551.4	580.2	608.4	637.2
35	435	442.2	470.4	499.2	526.8	554.4	582	609	635.4
40	442.2	440.4	468	495.6	522	548.4	574.8	600.6	625.8
45	440.4	432	458.4	484.8	510.6	535.8	561	585	609
50	432	417.6	443.4	469.2	493.8	518.4	541.8	565.2	588
55	417.6	399	424.8	450	474	498	520.8	543	564
60	399	379.2	404.4	429	453	476.4	498.6	519.6	540
65	379.2	358.2	384	408.6	432.6	455.4	477.6	498.6	518.4
70	358.2	338.4	364.8	390.6	414.6	438	459.6	480.6	500.4
75	338.4	321.6	394.2	375.6	400.8	424.8	447	468	487.8

FVC(L): Female

Age	Height (cm)								
	140	145	150	155	160	165	170	175	180
10	1.98	2.19	2.4	2.61	2.82	3.03	2.24	3.45	3.65
15	2.16	2.37	2.57	2.78	2.98	3.18	3.38	3.58	3.78
20	2.28	2.48	2.68	2.88	3.07	3.27	3.46	3.65	3.83
25	2.35	2.54	2.73	2.92	3.11	3.3	3.48	3.66	3.84
30	2.37	2.56	2.74	2.93	3.11	3.29	3.46	3.63	3.8
35	2.36	2.54	2.72	2.89	3.07	3.24	3.4	3.56	3.72
40	2.31	2.49	2.66	2.83	3	3.16	3.32	3.47	3.62
45	2.26	2.43	2.59	2.75	2.91	3.07	3.21	3.36	3.5
50	2.19	2.35	2.51	2.66	2.82	2.96	3.1	3.24	3.37
55	2.12	2.76	2.43	2.58	2.72	2.86	3	3.12	3.24
60	2.06	2.21	2.36	2.5	2.63	2.76	2.89	3.01	3.12
65	2.02	2.16	2.3	2.44	2.56	2.69	2.8	2.91	3.01
70	2	2.14	2.28	2.4	2.52	2.64	2.75	2.84	2.94
75	2.02	2.16	2.28	2.4	2.52	2.63	2.72	2.82	2.9

FEV1 (L): Female

Age	Height (cm)								
	140	145	150	155	160	165	170	175	180
10	1.79	1.99	2.2	2.44	2.68	2.94	3.22	3.51	3.82
15	1.96	2.14	2.33	2.53	2.75	2.98	3.22	3.48	3.76
20	2.07	2.23	2.4	2.58	2.77	2.97	3.19	3.42	3.65
25	2.12	2.26	2.42	2.58	2.75	2.92	3.11	3.31	3.52
30	2.13	2.26	2.39	2.54	2.69	2.85	3.01	3.19	3.37
35	2.1	2.22	2.34	2.47	2.6	2.74	2.89	3.04	3.2
40	2.04	2.14	2.26	2.38	2.5	2.62	2.76	2.89	3.03
45	1.95	2.06	2.16	2.27	2.38	2.5	2.62	2.74	2.86
50	1.86	1.96	2.06	2.16	2.26	2.37	2.48	2.59	2.7
55	1.76	1.85	1.95	2.05	2.15	2.26	2.36	2.46	2.56
60	1.66	1.76	1.86	1.96	2.06	2.16	2.26	2.35	2.45
65	1.57	1.67	1.78	1.88	1.98	2.08	2.18	2.28	2.37
70	1.5	1.61	1.72	1.83	1.94	2.05	2.15	2.24	2.34
75	1.46	1.58	1.7	1.82	1.94	2.05	2.16	2.26	2.36

FEV1/FVC (%): Female

Age	Height (cm)								
	140	145	150	155	160	165	170	175	180
10	91.79	92.38.	90.02	93.69	94.4	95.16	95.97	96.82	97.72
15	91.14	91.47	91.8	92.16	92.54	92.93	93.34	93.77	94.21
20	90.52	90.61	90.69	90.17	90.84	90.91	90.97	91.02	91.07
25	89.91	89.81	89.68	89.52	89.33	89.12	88.87	88.6	88.29
30	89.33	89.06	88.76	88.4	88	87.54	87.04	86.48	85.86
35	88.76	88.38	87.93	87.42	86.84	86.19	85.47	84.67	83.79
40	88.21	87.45	87.2	86.58	85.87	85.06	84.17	83.18	82.08
45	87.68	87.17	86.57	85.87	85.07	84.16	83.13	82	80.73
50	87.18	86.66	86.04	85.3	84.44	83.47	82.36	81.12	79.74
55	86.69	86.2	85.6	84.86	84	83	81.86	80.56	79.11
60	86.22	85.8	85.25	84.57	83.74	82.76	81.62	80.32	78.83
65	85.77	85.46	85	87.41	83.66	82.74	81.65	80.38	78.92
70	85.34	85.17	84.86	84.38	83.75	82.94	81.94	80.75	79.36
75	84.92	84.94	84.8	84.5	84.02	83.36	82.5	81.44	80.16

FEF25-75% (L/sec) : Female

Age	Height (cm)								
	140	145	150	155	160	165	170	175	180
10	2.72	3.01	3.3	3.57	3.84	4.1	4.36	4.6	4.84
15	2.86	3.11	3.35	3.58	3.8	4.01	4.21	4.39	4.56
20	2.93	3.15	3.35	3.54	3.72	3.88	4.02	4.15	4.26
25	2.94	3.13	3.3	3.45	3.59	3.71	3.81	3.89	3.95
30	2.9	3.06	3.21	3.33	3.43	3.52	3.58	3.61	3.63
35	2.82	2.96	3.08	3.18	3.26	3.31	3.33	3.33	3.31
40	2.7	2.83	2.94	3.01	3.07	3.09	3.09	3.06	3
45	2.56	2.68	2.77	2.83	2.87	2.88	2.85	2.79	2.7
50	2.4	2.51	2.6	2.65	2.67	2.67	2.62	2.55	2.44
55	2.23	2.34	2.42	2.47	2.49	2.47	2.42	2.33	2.2
60	2.05	2.17	2.26	2.31	2.33	2.31	2.25	2.15	2.01
65	1.86	2.01	2.11	2.17	2.19	2.17	2.12	2.02	1.87
70	1.74	1.88	1.98	2.05	2.09	2.07	2.03	1.93	1.79
75	1.61	1.77	1.89	1.98	2.03	2.03	2	1.91	1.78

PEF (L/min): Female

Age	Height (cm)								
	140	145	150	155	160	165	170	175	180
10	257.4	282.6	307.2	331.8	355.8	379.8	403.2	426	448.2
15	283.8	307.2	329.4	351.6	372.6	393.6	413.4	433.2	451.8
20	303	324	343.8	364.2	383.4	401.4	418.8	435	450
25	315	334.8	353.4	370.8	388.2	403.8	418.2	432	444.6
30	321	339	356.4	372.6	387.6	401.4	414	425.4	435.6
35	321.6	339	355.2	369.6	383.4	396	406.8	415.8	423.6
40	317.4	334.2	349.2	363	375.6	386.4	396	403.8	409.8
45	309	325.2	340.2	353.4	364.8	375	383.4	390	394.8
50	297.6	313.8	328.8	341.4	352.8	361.8	369.6	375	378.6
55	283.8	300	315	327.6	338.4	348	355.2	360	363
60	268.2	285	300	313.2	324	333.6	340.8	345.6	348
65	251.4	268.8	284.4	298.2	310.2	319.8	327	331.8	334.8
70	234	252.6	293.4	283.8	296.4	306.6	315	320.4	323.4
75	217.2	237	255	271.2	284.4	295.8	304.8	311.4	315.6