



## การควบคุมคุณภาพในการทดสอบสมรรถภาพระบบการหายใจ ด้วยคลื่นความถี่ โดยวิธี Forced Oscillation Technique (FOT) และ Impulse Oscillometry System (IOS)

สิมาพร พรหมสาร วท.บ.\*

สุวัฒน์ ตั้งจิตยงสีวะ วท.ม.\*

เรือดรีหญิง วัชรภรณ์ บุตรชำ พย.บ.\*\*

\* สาขาวิชาโรคระบบการหายใจและวัณโรค ภาควิชาอายุรศาสตร์  
คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล

\*\* ฝ่ายการพยาบาล โรงพยาบาลสมเด็จพระปิ่นเกล้า  
กรมแพทยทหารเรือ กองทัพเรือ

### บทนำ

การวัดการทำงานของปอดและระบบการหายใจเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการตัดสินใจในขั้นตอนการรักษา ประเมินผลติดตามการรักษาผู้ป่วยโรคระบบการหายใจ ประเมินความเสี่ยงของภาวะแทรกซ้อนในผู้ป่วยก่อนการผ่าตัด และสามารถบ่งบอกถึงการเสื่อมของการทำงานของปอดก่อนที่อาการทางคลินิกจะเริ่มปรากฏ ไม่เพียงแต่จะช่วยในการวินิจฉัยเท่านั้น การวัดการทำงานในระบบดังกล่าวยังช่วยในการประเมินความรุนแรงเพื่อให้เภสัชบำบัดที่เหมาะสมอีกด้วย ซึ่งนอกเหนือจากการตรวจสอบสมรรถภาพปอดด้วยวิธีสไปโรเมตรี (spirometry) ซึ่งเป็นหนึ่งในวิธีการที่ใช้ในการวัดการทำงานของปอดที่เป็นที่นิยมมากที่สุดในการปฏิบัติทางคลินิกและถือเป็นการตรวจวินิจฉัยโรคหืด (asthma) และปอดอุดกั้นเรื้อรัง (chronic obstructive pulmonary disease, COPD) ที่เป็นมาตรฐาน (gold standard) แล้ว<sup>1</sup> การตรวจสอบสมรรถภาพปอดในวิธีการดังกล่าวไม่ใช้การทดสอบที่ง่ายในเด็กที่มีอายุต่ำกว่า 5 ปี ผู้สูงอายุ ผู้ที่มีข้อจำกัดทางร่างกายและการรับรู้ ที่ยังต้องอาศัยความร่วมมืออย่างมากในรูปแบบวิธีการหายใจในการทดสอบ ซึ่งการทดสอบความต้านทานของระบบการหายใจด้วยวิธี FOT (forced oscillation technique) และการทดสอบความต้านทานหลอดลมด้วยวิธี IOS (impulse oscillometry system) นั้น สามารถลดข้อจำกัดในบุคคลและความร่วมมือในการทดสอบดังกล่าวได้เป็นอย่างดีและเป็นวิธีการทดสอบที่ง่ายในเด็กเล็ก<sup>2-12</sup> อีกทั้งยังเป็นวิธีการทดสอบที่นักวิจัยโดยเฉพาะในสหรัฐอเมริกาให้ความสนใจอย่างยิ่ง<sup>13-15</sup>

แม้การทดสอบที่ง่ายและเป็นมิตรแก่ผู้รับการทดสอบ แต่ยังมีข้อผิดพลาดและข้อพึงระวังที่เจ้าหน้าที่ตรวจสอบสมรรถภาพปอดยังคงต้องควบคุมคุณภาพเพื่อให้การทดสอบมีประสิทธิภาพสูงสุด และผลการทดสอบที่มีคุณภาพ

## หลักการงานที่สำคัญ

ในปี 1956, DuBois และคณะ<sup>16</sup> ได้อธิบายเทคนิคการทดสอบความต้านทานทางเดินหายใจด้วยวิธี FOT ว่าเป็นการวัดการทำงานของปอดโดยใช้คลื่นเสียงรูปไซน์ (sinusoidal sound waves) ที่สร้างขึ้นโดยลำโพงและผ่านเข้าไปในปอดในระหว่างการหายใจเข้าออก ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่ได้คือความต้านทานของระบบทางเดินหายใจ (respiratory system impedance,  $Z_{rs}$ ) จากความสัมพันธ์ดังสมการ<sup>17-18</sup>

$$Z_{rs} = R_{rs} + j \cdot X_{rs}$$

$R_{rs}$  คือ ความต้านทานทางเดินหายใจ (Respiratory resistance) ที่มีทิศทางเดียวกับ flow

$X_{rs}$  คือ ปฏิกริยาสะท้อนกลับทางเดินหายใจ (Respiratory reactance)

$j$  คือ ส่วนจินตภาพ ( $\sqrt{-1}$ ) ที่กำหนดทิศทางของค่า  $X_{rs}$  ไว้ว่าตรงข้ามกับ flow

ช่วงความถี่ที่ให้ขณะทดสอบอยู่ที่ 3-35 Hz ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จะให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์เกี่ยวกับความต้านทานของหลอดลมและเนื้อเยื่อปอด ซึ่งประโยชน์หลักที่สำคัญของการทดสอบในรูปแบบนี้คือ เป็นการทดสอบที่ง่ายและได้ข้อมูลเกี่ยวกับความต้านทานของปอดที่แตกต่างจากการตรวจด้วยเครื่อง spirometer

ในปี ค.ศ. 1975, Michaelson และคณะ<sup>19</sup> ได้พัฒนาโดยใช้คอมพิวเตอร์ที่ขับเคลื่อนแรงดันคลื่นสี่เหลี่ยม (square wave) ในหลายช่วงความถี่ด้วยลำโพง และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของแรงดันกับอัตราการไหลของอากาศโดยใช้การวิเคราะห์สเปกตรัม ซึ่งเทคนิคในการทดสอบนี้ถูกเรียกว่า IOS แต่ความละเอียดเชิงเวลาของวิธีการทดสอบ IOS จะน้อยกว่า FOT เล็กน้อย โดยที่ IOS จะส่งพัลส์ (pulses) ของคลื่นความดันภายในปอดโดยแสดงเป็น bit uncomfortable

อย่างไรก็ตาม IOS แสดงรายละเอียดที่ครอบคลุมความสัมพันธ์การไหลของอากาศและแรงดันในช่วงความถี่ระหว่าง 4 และ 32 Hz และให้การวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ที่ดีกว่าในตัววัดความต้านทานและปฏิกริยาโดยใช้เทคนิค Fast

Fourier Transform (FFT) นอกจากนี้ ยังมีการใช้คลื่นเสียงในหลายความถี่ในการทดสอบโดยเป็นไปในลักษณะผสมและการปรับปรุงลักษณะสัญญาณต่อเสียงรบกวนซึ่งเทคนิคใหม่นี้ได้ปรับปรุงในหลายปีต่อมาโดยบริษัท Jaeger จนนำมาสู่การใช้งานเชิงพาณิชย์ใน ค.ศ. 1998<sup>20</sup> FOT และ IOS ถูกใช้กันอย่างแพร่หลายในคลินิกเด็กทั่วโลก เช่นเดียวกับในหลายห้องปฏิบัติการตรวจสรีรวิทยาของปอดและยังเป็นวิธีการทดสอบหนึ่งในการวิจัยทางคลินิก

## พารามิเตอร์ที่ FOT/IOS สามารถวัดได้

แรงกระตุ้นที่สร้างขึ้นจากเครื่องกำเนิดความถี่จะถูกส่งผ่านทางเดินหายใจในส่วนที่มีขนาดใหญ่ไปจนถึงส่วนที่มีขนาดเล็ก หรือที่เรียกว่าส่วนปลายพร้อมกับการหายใจเข้าออกปกติ ซึ่งช่วงความถี่สูงที่มากกว่า 20 Hz นั้นจะเดินทางด้วยระยะทางได้สั้นกว่าจึงใช้ในการตรวจของทางเดินหายใจที่มีขนาดใหญ่ ในขณะที่เดียวกันที่ความถี่ต่ำกว่า 15 Hz จะสามารถลงลึกไปปอดและเนื้อเยื่อของปอดซึ่งคล้ายกับประโยชน์ของคลื่นวิทยุ กล่าวคือ คลื่นวิทยุความถี่สูง (frequency modulation, FM) จะเดินทางได้ระยะทางที่สั้นกว่าคลื่นวิทยุความถี่ต่ำ (amplitude modulation, AM)

**R5** คือ ค่า respiratory resistance ที่ความถี่ 5 Hz ค่าที่ได้นี้แสดงถึงความต้านทานของทางเดินหายใจทั้งหมดไปจนถึงส่วนท่อลมส่วนปลาย (Peripheral airways)

**R20** คือค่า respiratory resistance ที่ความถี่ 20 Hz ค่าที่ได้นี้แสดงถึงความต้านทานของทางเดินหายใจตั้งแต่ส่วนต้น จนถึงส่วนกลางที่เป็นหลอดลมขนาดใหญ่

**R5-R20** คือค่าความแตกต่างของ respiratory resistance ที่ความถี่ 5 Hz กับ 20 Hz เป็น respiratory resistance ในส่วนของท่อลมส่วนปลาย (peripheral airways)

**X5** คือค่าปฏิกริยาสะท้อนกลับของความต้านทานที่ความถี่ 5 Hz

**Fres** (resonant frequency) ค่าความถี่ที่ inertance forces เท่ากับ peripheral capacitance

**AX** (area of reactance) พื้นที่ใต้กราฟของปฏิกริยาสะท้อนกลับจากจุดความถี่ต่ำสุดไปถึงจุด Fres

CO (Coherence) ค่าดัชนีความสอดคล้องของผลลัพธ์ บ่งชี้คุณภาพการทดสอบ มีค่าระหว่าง 0-1

ข้อแตกต่างจากวิธีการทดสอบอื่น

ในระหว่างทำการทดสอบ FOT และ IOS ผู้รับการทดสอบสามารถหายใจได้ปกติ ใช้ความพยายามและความร่วมมือน้อยกว่าการตรวจสมรรถภาพปอดสไปโรเมตริ (spirometry) ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบ หลักของการทดสอบนี้ เมื่อเทียบกับการทดสอบโดยวิธีการอื่นๆ จึงทำให้การทดสอบนี้เหมาะสมกับเด็กที่อายุต่ำกว่า 5 ปี ผู้สูงอายุ ผู้ที่มีข้อจำกัดทางด้านร่างกาย หรือผู้บกพร่องทางสติปัญญา นอกจากนี้ยังสามารถทดสอบในผู้ป่วยที่ใช้เครื่องช่วยหายใจ และทำการทดสอบในระหว่างการนอนหลับ<sup>22</sup> ได้อีกด้วย มีความไวในการตรวจจับการอุดตันและสิ่งกีดขวางทางเดินหายใจส่วนปลายมากขึ้น อีกทั้งให้ข้อบ่งชี้ชัดเจนกว่าการตรวจสมรรถภาพปอดสไปโรเมตริ (spirometry) ในการตรวจสอบการอุดตันในบริเวณของทางเดินหายใจส่วนปลายโดยไม่อาศัยข้อมูลที่มีอยู่ใน flow-volume Curve และ forced expiratory flow (FEF) ที่ 25-75% (FEF25-75%) จึงเป็นประโยชน์ต่อการวินิจฉัยในผู้ป่วยที่เป็นโรคระบบทางเดินหายใจขนาดเล็กที่อุดตัน เช่น ผู้ป่วยที่เป็นโรคหืด (Asthma) โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง (COPD) ซึ่งจากการวิเคราะห์ค่าของ Rrs และ Xrs สามารถแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างโรคดังกล่าว และยังมีข้อมูลที่เป็นประโยชน์เพิ่มเติมเกี่ยวกับพยาธิสรีรวิทยาของโรคดังกล่าว ซึ่งวิธีการตรวจสมรรถภาพปอดสไปโรเมตริ (spirometry) ไม่สามารถทำได้

ตารางที่ 1. ความแตกต่างระหว่างวิธีการตรวจ Spirometry และ FOT/ IOS<sup>21</sup>

| Parameter                                  | Spirometry                                                                                          | FOT/IOS                                                                                                                                                                                                  |
|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| หลักการสำคัญ                               | ใช้การตรวจจับการไหลของอากาศ และปริมาตรของปอด โดยอาศัยหลักการวัดปริมาณอากาศเคลื่อนผ่านอุปกรณ์ตรวจจับ | ใช้การสั่นจากเครื่องกำเนิดคลื่นความถี่เดียว (FOT) หรือการใช้แรงกระตุ้นจากคลื่นหลายความถี่ (IOS) โดยจะถูกผลักดันเข้าสู่ทางเดินหายใจและแปรเป็นคลื่นความดันเพื่อวัดผลความต้านทานและปฏิกิริยาของทางเดินหายใจ |
| ตัวแปรหลักที่วัด                           | ปริมาตร: FEV1, FVC<br>อัตราการไหล: PEFR, FEF25-75%                                                  | Zrs, Rrs, Xrs, Fres, Ax                                                                                                                                                                                  |
| ความร่วมมือของผู้ทำการทดสอบ                | +++                                                                                                 | +                                                                                                                                                                                                        |
| วิธีการหายใจในการทดสอบ                     | การบังคับให้หายใจออกอย่างเร็วและแรง                                                                 | การหายใจปกติ                                                                                                                                                                                             |
| ค่าความแปรปรวนจากผู้ทดสอบ                  | 3-5%                                                                                                | 5-15%                                                                                                                                                                                                    |
| ความไวต่อการตรวจจับในส่วนของทางเดินหายใจ   |                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                          |
| ส่วนกลาง                                   | +                                                                                                   | +++                                                                                                                                                                                                      |
| ส่วนปลาย                                   | ++                                                                                                  | +++                                                                                                                                                                                                      |
| ค่าตัวแปรหลักสำหรับผู้ตอบสนองต่อขยายหลอดลม | 12-15% for FEV1                                                                                     | 40% for R <sub>s</sub> or X <sub>s</sub>                                                                                                                                                                 |
| ค่าตัวแปรหลักสำหรับผู้ที่มีภาวะหลอดลมตีบ   | 20% for FEV1                                                                                        | 50% for R <sub>s</sub>                                                                                                                                                                                   |
| ข้อมูลเชิงลึกในกลศาสตร์ของปอด              | +                                                                                                   | +++                                                                                                                                                                                                      |
| วิธีการที่เป็นมาตรฐาน                      | +++                                                                                                 | ++                                                                                                                                                                                                       |
| ประสิทธิภาพของค่าอ้างอิง                   | +++                                                                                                 | +                                                                                                                                                                                                        |

การเลือกใช้วิธีการทดสอบระหว่าง FOT และ IOS เพื่อวัดความต้านทานและปฏิกิริยาของทางเดินหายใจนั้นเหมือนการเลือกชนิดของ spirometer ระหว่าง volume-displacement spirometer และ flow sensor-based spirometer ตามลำดับ ถึงแม้ว่า volume-displacement spirometer จะมีการวัดปริมาตรปอดที่ถูกต้องและแม่นยำมากกว่า flow sensor-based spirometer แต่อุปกรณ์และเครื่องมือการตรวจนั้น มีขนาดค่อนข้างใหญ่และความแตกต่างในการแปลผลการทดสอบที่สำคัญด้วย ทั้งนี้ อุปกรณ์ของวิธีการทดสอบ FOT และ IOS สามารถวัดค่า Rrs และ Xrs ที่หลายความถี่ แต่เครื่องมือที่ทำการทดสอบทั้ง 2 วิธีการนั้นไม่จำเป็นที่จะต้องแสดงค่าที่คล้ายกัน<sup>23</sup>

## การควบคุมคุณภาพที่สำคัญ

### ผู้รับการทดสอบ

1. ควรนั่งบนเก้าอี้ หรือรถเข็น (Wheelchair) ตัวตรง คอตั้งตรงในระดับปกติ ไม่ควรพิงพนักพิง ไขว้ขาหรือไขว้ห้าง เนื่องจากอาจจะทำให้การขยายตัวของทรวงอกถูกจำกัดได้

2. ปรับระดับท่อที่ใช้ออม เพื่อทำการทดสอบให้พอดีกับช่องปากโดยให้คอยื่นออกมาเล็กน้อย

3. อมท่อไว้บนลิ้นโดยริมฝีปากแนบชิดกับท่อ เพื่อป้องกันการรั่วไหลของอากาศ ใช้พื้นหน้ากักหลอดลมไว้เบาๆ ไม่กักแน่นจนหลอดลมยุบตัว โดยที่ลิ้นจะต้องไม่อุดท่อและช่องปาก

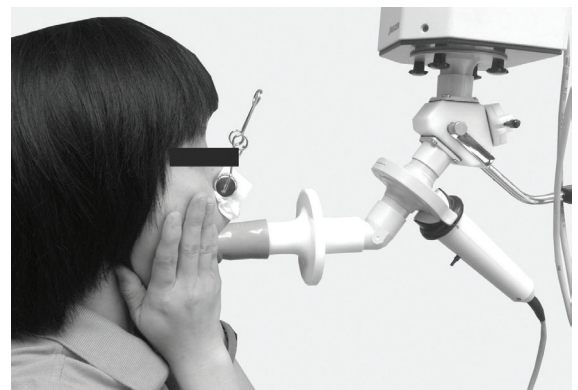
4. ใช้มือทั้งสองข้างบีบแก้ม และใช้นิ้วหัวแม่มือทั้งสองข้างเชยบริเวณใต้คาง เพื่อป้องกันการเกิดช่องว่างบริเวณกระพุ้งแก้ม หากไม่สามารถทำได้ เช่น เด็กเล็ก ผู้มีปัญหาการเคลื่อนไหว ให้เจ้าหน้าที่ตรวจสอบสมรรถภาพอดเป็นผู้บีบแก้ม

5. พิจารณาใช้อุปกรณ์เสริมช่วยในการอมท่อ (mouthpiece) ในกรณีที่ผู้รับการทดสอบไม่สามารถอมท่อของ filter ได้ เช่น ผู้มีปัญหาด้านช่องปากหรือเด็กเล็ก และใช้ที่หนีบจมูก (nose clips) หนีบจมูกของผู้รับการทดสอบในระหว่างการทดสอบ

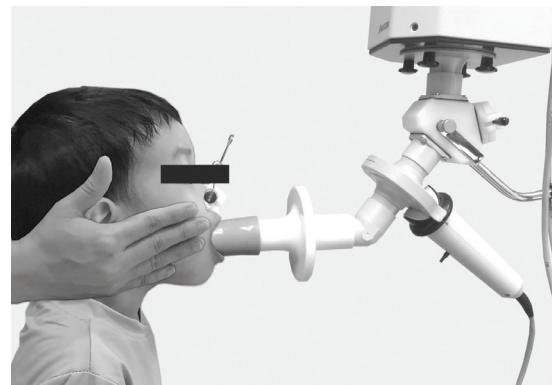
6. หากผู้รับการทดสอบสวมใส่ฟันปลอม ต้องตรวจสอบให้แน่ใจว่าฟันปลอมนั้นยึดติดแน่นหนา หรือเพื่อความปลอดภัยอาจถอดออกเพื่อป้องกันการเลื่อนหลุดในระหว่างการทดสอบ



รูปที่ 1. ลักษณะการนั่งของผู้รับการทดสอบ



รูปที่ 2. ลักษณะการอมท่อที่มีการต่อ Mouthpiece เพิ่มเติมและใช้มือทั้งสองข้างบีบแก้มและใช้นิ้วหัวแม่มือเชยบริเวณใต้คาง



รูปที่ 3. ลักษณะการอมท่อที่มีการต่อ Mouthpiece เพิ่มเติม และเจ้าหน้าที่ตรวจสอบสมรรถภาพอดใช้มือทั้งสองข้างบีบแก้มช่วยผู้รับการทดสอบ เช่น ในเด็กเล็ก

## อุปกรณ์เสริมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ

ในกรณีที่ผู้รับการทดสอบไม่สามารถอมท่อของ Filter ในรูปแบบปกติได้ เช่น ผู้มีปัญหาด้านช่องปาก หรือ เด็กเล็ก ให้เจ้าหน้าที่ตรวจสอบสมรรถภาพปอดพิจารณาอุปกรณ์เสริมในการอมท่อ (mouthpiece) ต่อเสริมจาก filter ซึ่งพิจารณาจากขนาดช่องปากของผู้รับการทดสอบ โดยมีลักษณะดังรูปที่ 4 และ 5



รูปที่ 4. Mouthpiece ต่อเสริมจาก Filter



รูปที่ 5. Mouthpiece ที่ใช้ป้องกันลิ้นขัดขวางการส่งคลื่นความถี่ (Free Flow Mouthpiece)

## การวัดค่า (Record Measurement)

1. เมื่อผู้รับการทดสอบหายใจโดยปกติและผ่อนคลาย ทำการวัดค่า 3-5 ครั้ง โดยการรายงานผลลัพธ์เป็นค่าเฉลี่ยของการวัดค่า<sup>24</sup>
2. เวลาที่เหมาะสมในการวัดค่าในแต่ละครั้ง ควรใช้ระยะเวลาดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2. ระยะเวลาในการบันทึกค่าในการทดสอบ FOT และ IOS แต่ละช่วงอายุ<sup>25</sup>

| ช่วงอายุ | ระยะเวลาในการวัดค่า (Record Measurement) | Coefficient of variation (C.V.) |
|----------|------------------------------------------|---------------------------------|
| เด็กทารก | 5-10 วินาที                              | ≤15%                            |
| < 12 ปี  | 16 วินาที                                | ≤15%                            |
| ผู้ใหญ่  | 30 - 60 วินาที                           | ≤10%                            |

## Coherence (CO)

ค่าดัชนีความสอดคล้องของผลลัพธ์และบ่งชี้คุณภาพการทดสอบ มีค่าระหว่าง 0-1 ซึ่งสำหรับผู้ใหญ่<sup>21</sup> แล้วที่ความถี่ 5 Hz ต้องมีค่า CO > 0.8 และที่ความถี่ 20 Hz ต้องมีค่า CO ≥ 0.9 สำหรับในเด็กเล็กมาก<sup>26</sup> ที่ความถี่ 5 Hz ค่า CO ≥ 0.6 นั้นถือว่ายอมรับได้ ทั้งนี้ ค่าความสอดคล้องที่สูงกว่าย่อมมีคุณภาพกว่าค่าที่ต่ำโดยผลลัพธ์ของการทดสอบควรมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ดังกล่าวข้างต้น

## ข้อมูลเพิ่มเติมในการรายงานผล

บนแบบรายงานผลการทดสอบ นอกเหนือจากการรายงานค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญแล้ว เจ้าหน้าที่ตรวจสอบสมรรถภาพปอดพิจารณารายงานข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อประกอบการแปลผล ดังต่อไปนี้

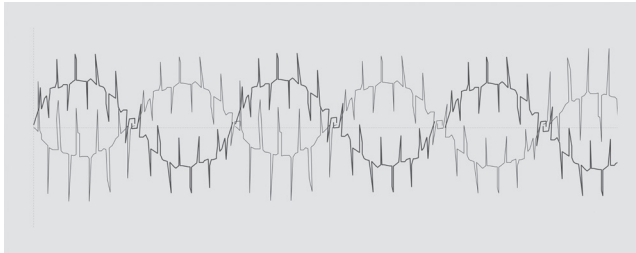
1. ชื่ออุปกรณ์ รุ่นซอฟต์แวร์ และผู้ผลิต
2. ระยะเวลาของการบันทึกแต่ละครั้ง
3. จำนวนการทำซ้ำ
4. ลักษณะตำแหน่งลำตัวและศีรษะ
5. การใช้ที่หนีบจมูก และการบีบแก้ม

## ปัญหาที่พบได้บ่อยในการทดสอบ

เนื่องจากการเกิดช่องว่างบริเวณกระพุ้งแก้ม ซึ่งส่งผลต่อค่า R5 และ X5 ซึ่งส่งผลต่อการแปลค่าในผู้ป่วยโรคทางเดินหายใจ<sup>25</sup> โดยปัญหาดังกล่าวจะแสดงออกมาในลักษณะกราฟที่แสดงบนจอแสดงผลที่สามารถสังเกตเห็นได้ ได้แก่

### 1) การหายใจปกติ (normal breathing)

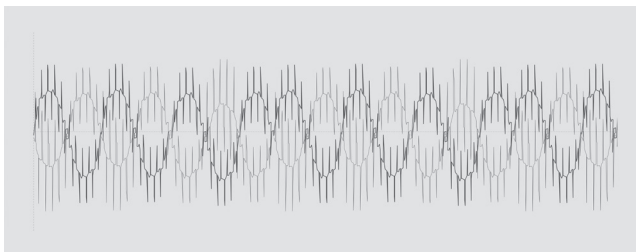
เมื่อผู้รับการทดสอบอมท่อและหายใจโดยปกติและผ่อนคลายก่อนทำการบันทึกค่า โดยสังเกตภาพกราฟที่แสดงความต่อเนื่องและสม่ำเสมอ



รูปที่ 6. กราฟแสดงลักษณะการหายใจปกติ (normal breathing)

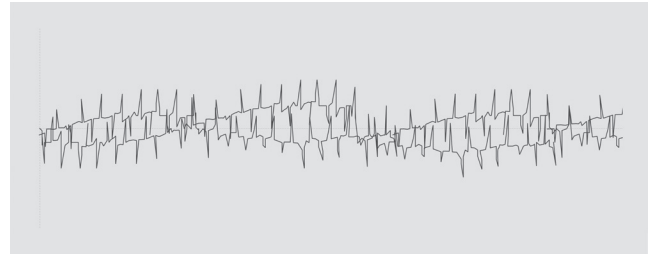
### 2) การหายใจเร็วกว่าปกติ (rapid breathing)

ซึ่งอาจเกิดได้จากอาการเหนื่อยจากการเดินทาง สภาพอากาศจากการเดินทาง หรือในห้องที่ทำการทดสอบ ซึ่งอาจสังเกตการหายใจของผู้รับการทดสอบในระหว่างสอบถามข้อมูล หรือขั้นตอนอื่น ๆ ก่อนการทดสอบเพื่อประเมินลักษณะการหายใจว่าเป็นการหายใจปกติ (normal breathing) แล้วหรือไม่



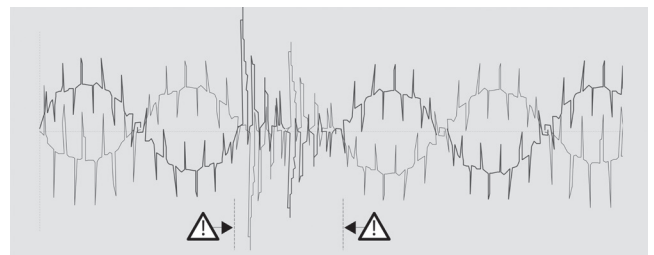
รูปที่ 7. กราฟแสดงลักษณะการหายใจเร็วกว่าปกติ (rapid breathing)

### 3) การหายใจช้ากว่าปกติ (slow breathing)



รูปที่ 8. กราฟแสดงลักษณะการหายใจช้ากว่าปกติ (slow breathing)

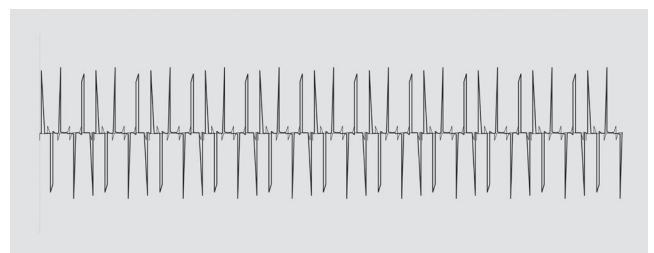
### 4) ผู้รับการทดสอบไอระหว่างทดสอบ (cough)



รูปที่ 9. กราฟแสดงลักษณะการไอ (cough) ระหว่างการทดสอบ

### 5) การหายใจทางจมูก (nasal breathing)

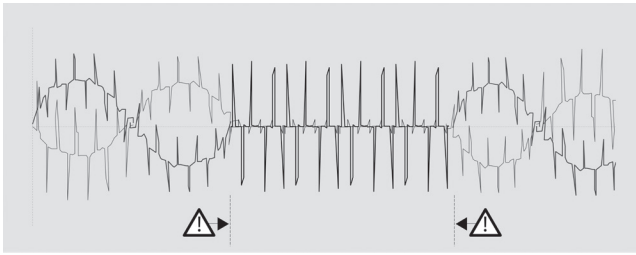
ตรวจดูที่หนีบจมูก (nose clip) ว่าแน่นหนาหรือไม่ ทั้งนี้อาจตรวจสอบสภาพของที่หนีบจมูก ว่ามีความยืดหยุ่น และมีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะใช้งานได้มีประสิทธิภาพ



รูปที่ 10. กราฟแสดงลักษณะการหายใจทางจมูก (nasal breathing)

### 6) การกลืนน้ำลายหรือช่องทางเดินหายใจถูกปิดกั้น (swallow/ glottic closure)

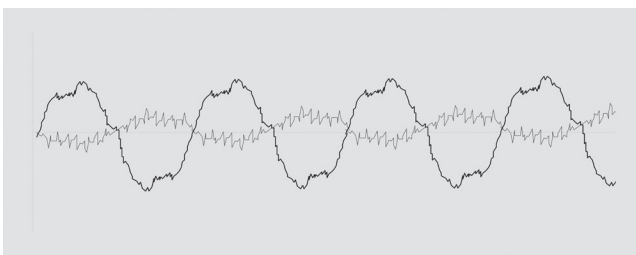
พิจารณาใช้ mouthpiece ที่ใช้ป้องกันลิ้น/การกลืนน้ำลายที่ขัดขวางการส่งคลื่นความถี่ต่อเสริมจาก filter



**รูปที่ 11.** กราฟแสดงลักษณะช่องทางเดินหายใจถูกปิดกั้น (swallow/glottic closure)

### 7) ช่อง terminating resistance ถูกเปิด

ช่อง terminating resistance จะถูกเปิดเฉพาะการสอบเทียบ (calibration) เท่านั้น



**รูปที่ 12.** กราฟแสดงลักษณะช่อง terminating resistance ถูกเปิด

## ข้อจำกัดในการทดสอบที่พึงระวัง

1. ยังไม่เป็นวิธีการที่มาตรฐาน ยังคงต้องทำการทดสอบด้วยวิธีการดังกล่าวร่วมกับการตรวจสมรรถภาพปอดด้วยวิธีสไปโรเมตริย์ (spirometry) เพื่อความสมบูรณ์ของการวินิจฉัยโรค
  2. ผู้แปลผลต้องได้รับการฝึกอบรม และใช้ประสบการณ์สูงในการแปลผลการทดสอบ
  3. ประสิทธิภาพของค่าอ้างอิงอยู่ในระดับต่ำ
  4. อุปกรณ์ยังมีราคาสูงหากเทียบกับวิธีการอื่น
  5. ยังคงต้องใช้ในห้องปฏิบัติการทางคลินิก
- เนื่องจากอุปกรณ์ไม่สามารถพกพาได้เมื่อเทียบกับการตรวจสมรรถภาพปอดด้วยวิธีสไปโรเมตริย์ (spirometry)

ปัจจัยที่มีผลต่อการทดสอบ ได้แก่ เพศ<sup>27</sup> อายุ<sup>27</sup> ความสูง<sup>27-28</sup> และการเกิดช่องว่างบริเวณกระบังแก้มนั้นส่งผลต่อค่า R5 และ X5 ซึ่งต้องระวังในระหว่างการทดสอบ

## สรุป

แม้ว่าการทดสอบสมรรถภาพระบบทางเดินหายใจและถุงลมด้วยคลื่นความถี่ โดยวิธี forced oscillation technique (FOT) และ impulse oscillometry system (IOS) จะมีจุดเด่นในด้านความร่วมมือของผู้รับการทดสอบน้อยกว่าวิธีการอื่น เช่น ปัจจัยส่วนบุคคล (เด็กที่อายุต่ำกว่า 5 ปี ผู้สูงอายุ ผู้ที่มีข้อจำกัดทางด้านร่างกาย ผู้บกพร่องทางสติปัญญา ผู้ป่วยที่ใช้เครื่องช่วยหายใจ และการทดสอบในระหว่างการนอนหลับ) หรือเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการวินิจฉัยโรคระบบทางเดินหายใจขนาดเล็กที่อุดตัน เช่น ผู้ป่วยที่เป็นโรคหืด (asthma) โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง (COPD) ที่ดีกว่าวิธีการอื่นๆ แล้ว แต่เนื่องจากใช้ระยะเวลาในการวัดค่าระยะสั้นไม่กี่วินาที หากเจ้าหน้าที่ตรวจสอบสมรรถภาพปอดควบคุมคุณภาพไม่เป็นไปตามมาตรฐานแล้ว อาจส่งผลต่อคุณภาพของผลการทดสอบ จึงจำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงปัจจัยเสี่ยงที่จะทำให้ผลการทดสอบด้วยคุณภาพอย่างเคร่งครัด

วิธีการทดสอบนี้ยังไม่เป็นวิธีการมาตรฐาน (gold standard) หรือทดแทนการทดสอบด้วยวิธีสไปโรเมตริย์ (spirometry) สำหรับการประเมินสมรรถภาพปอดตามปกติ เนื่องจากยังมีข้อจำกัดในประสิทธิภาพของค่าอ้างอิงรวมถึงการแปลผลการทดสอบที่ต้องอาศัยผู้ที่ได้รับการฝึกอบรมและใช้ประสบการณ์สูง แต่การทดสอบดังกล่าวจะมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้นหากทดสอบและแปลผลควบคู่กับการตรวจสมรรถภาพปอดด้วยวิธีสไปโรเมตริย์ (spirometry) และในอนาคตเมื่อมีงานวิจัยและองค์ความรู้ที่เพิ่มมากขึ้น อาจส่งผลต่อการพิจารณาค่าอ้างอิงและการแปลผลที่เป็นมาตรฐานซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการวินิจฉัยโรคระบบทางเดินหายใจขนาดเล็กที่สะดวก ง่ายและมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น

## เอกสารอ้างอิง

1. Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease. Spirometry for health care providers Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease (GOLD) [Internet]. 2010[cited 2021 Jan 13]. Available from: URL: [https://goldcopd.org/wp-content/uploads/2016/04/GOLD\\_Spirometry\\_2010.pdf](https://goldcopd.org/wp-content/uploads/2016/04/GOLD_Spirometry_2010.pdf)
2. Bisgaard H, Klug B. Lung function measurement in awake young children. *Eur Respir J* 1995; 8: 2067-75.
3. Klug B, Nielsen KG, Bisgaard H. Observer variability of lung function measurements in 2-6-yr-old children. *Eur Respir J* 2000; 16:472-5.
4. Klug B, Bisgaard H. Lung function and short-term outcome in young asthmatic children. *Eur Respir J* 1999; 14:1185-9.
5. Klug B, Bisgaard H. Specific airway resistance, interrupter resistance, and respiratory impedance in healthy children aged 2-7 years. *Pediatr Pulmonol* 1998; 25:322-31.
6. Klug B, Bisgaard H. Repeatability of methacholine challenges in 2-to 4-year-old children with asthma, using a new technique for quantitative delivery of aerosol. *Pediatr Pulmonol* 1997; 23:278-86.
7. Klug B, Bisgaard H. Measurement of lung function in awake 2-4 yearold asthmatic children during methacholine challenge and acute asthma: a comparison of the impulse oscillation technique, the interrupter technique, and transcutaneous measurement of oxygen versus whole-body plethysmography. *Pediatr Pulmonol* 1996; 21: 290-300.
8. Klug B. The impulse oscillation technique applied for measurements of respiratory function in young children. *Pediatr Pulmonol Suppl* 1997; 16:240-1.
9. Nielsen KG, Bisgaard H. Discriminative capacity of bronchodilator response measured with three different lung function techniques in asthmatic and healthy children aged 2 to 5 years. *Am J Respir Crit Care Med* 2001; 164:554-9.
10. Nielsen KG, Bisgaard H. The effect of inhaled budesonide on symptoms, lung function, and cold air and methacholine responsiveness in 2- to 5-year-old asthmatic children. *Am J Respir Crit Care Med* 2000; 162:1500-6.
11. Nielsen KG, Bisgaard H. Lung function response to cold air challenge in asthmatic and healthy children of 2-5 years of age. *Am J Respir Crit Care Med* 2000; 161:1805-9.
12. Nielsen KG, Pressler T, Klug B, Koch C, Bisgaard H. Serial lung function and responsiveness in cystic fibrosis during early childhood. *Am J Respir Crit Care Med* 2004; 169:1209-16.
13. Goldman MD, Carter R, Klein R, Fritz G, Carter B, Pachucki P. Withinand between-day variability of respiratory impedance, using impulse oscillometry in adolescent asthmatics. *Pediatr Pulmonol* 2002; 34:312-9.
14. Marotta A, Klennert MD, Price MR, Larsen GL, Liu AH. Impulse oscillometry provides an effective measure of lung dysfunction in 4- year-old children at risk for persistent asthma. *J Allergy Clin Immunol* 2003; 112:317-22.

15. Guilbert TW, Morgan WJ, Krawiec M, *et al.* The Prevention of early asthma in kids study: design, rationale and methods for the childhood asthma research and education network. *Control Clin Trials* 2004; 25:286–310.
16. Dubois AB, Botelho SY, Comroe JH Jr. A new method for measuring airway resistance in man using a body plethysmograph: values in normal subjects and in patients with respiratory disease. *J Clin Invest* 1956; 35:327-35
17. King GG, Bates J, Berger KI, *et al.* Technical standards for respiratory oscillometry. *Eur Respir J* 2020; 55:1-21.
18. Porojan-Suppini N, Fira-Mladinescu O, Marc M, Tudorache E, Oancea C. Lung function assessment by impulse osilometry in adults. *Ther Clin Risk Manag* 2020; 16:1139-50.
19. Michaelson ED, Grassman ED, Peters WR. Pulmonary mechanics by spectral analysis of forced random noise. *J Clin Invest* 1975; 56:1210-30.
20. Klug B, Bisgaard H. Specific airway resistance, interrupter resistance, and respiratory impedance in healthy children aged 2-7 years. *Pediatr Pulmonol* 1998; 25:322-31.
21. Brashier B., Salvi S. Measuring lung function using sound waves: role of the forced oscillation technique and impulse oscillometry system. *Breathe* 2015; 11:57-65. doi: 10.1183/20734735.020514
22. Oostveen E, MacLeod D, Lorino H, *et al.* The forced oscillation technique in clinical practice: methodology, recommendations and future developments. *Eur Respir J* 2003; 2003; 22(6):1026-41. doi: 10.1183/09031936.03.00089403.
23. Tanimura K, Hirai T, Sato S, *et al.* Comparison of two devices for respiratory impedance measurement using a forced oscillation technique: basic study using phantom models. *J Physiol Sci* 2014; 64:377-82.
24. Nielsen KG. Forced oscillation technique. *Paediatr Respir Rev* 2006; 2006;7 Suppl 1:S8-S10. doi: 10.1016/j.prrv.2006.04.021.
25. Uchida A, Ito S, Suki B, *et al.* Influence of cheek support on respiratory impedance measured by forced oscillation technique. *Springer Plus* 2013; 2:342. doi: 10.1186/2193-1801-2-342.
26. Mottram C. Ruppel's Manual of Pulmonary Function Testing. 10th ed. Minnesota: Mosby; 2012
27. Assumpção MS, Gonçalves RM, Martins R, Bobbio TG, Schivinski CIS. Reference Equations for Impulse Oscillometry System Parameters in Healthy Brazilian Children and Adolescents. *Respir Care* 2016; 2016; 61(8):1090-9. doi: 10.4187/respcare.04226.
28. Frei J, Jutla J, Kramer G, Hatzakis GE, Ducharme FM, Davis GM. Impulse oscillometry: reference values in children 100 to 150 cm in height and 3 to 10 years of age. *Chest* 2005; 128:1266-73.