



การศึกษาเปรียบเทียบวิธีการทดสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดอัตโนมัติและชนิดปรับด้วยมือ:
การทบทวนอย่างเป็นระบบ

COMPARATIVE STUDY OF AUTOMATED AND MANUAL AUDIOMETRY:
A SYSTEMATIC REVIEW

พศวีร์ วินันทมาลากุล^{1, 2*}, พิจิตรา ปฏิปัต³, ปวีณา มีประดิษฐ์³

Possavee Winuntamalakul^{1, 2*}, Pichitra Patipat³, Parvena Meepradit³

(Received: 21 June 2025; Revised: 30 July 2025; Accepted: 21 October 2025)

¹ศูนย์เวชศาสตร์อุตสาหกรรม โรงพยาบาลสมเด็จพระบรมราชเทวี ณ ศรีราชา สภากาชาดไทย

¹Industrial Medicine Center, Queen Savang Vadhana Memorial Hospital, Thai Red Cross Society

²หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

²Master of Science in Occupational Health and Safety, Faculty of Public Health, Burapha University

³สาขาวิชาสาธารณสุขศาสตร์อุตสาหกรรมและความปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

³Department of Industrial Health and Safety, Faculty of Public Health, Burapha University

*Corresponding Author, Email: w.possavee@gmail.com

บทคัดย่อ

หนึ่งในปัญหาสุขภาพระดับโลกที่สำคัญในปัจจุบันคือการสูญเสียการได้ยิน ทำให้ความต้องการในการทดสอบสมรรถภาพการได้ยินเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทั้งในด้านการวินิจฉัยโรคและการเฝ้าระวัง เช่น การตรวจผู้ที่ทำงานสัมผัสเสียงดัง อย่างไรก็ตาม การทดสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดปรับด้วยมือจำเป็นต้องใช้ผู้ควบคุมการทดสอบที่ผ่านการอบรมโดยเฉพาะ ซึ่งอาจไม่เพียงพอต่อความต้องการตรวจที่เพิ่มขึ้น ด้วยเหตุนี้ จึงมีการพัฒนาวิธีการทดสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดอัตโนมัติที่สามารถทดสอบได้โดยอัตโนมัติ การทบทวนวรรณกรรมในครั้งนี้พบว่า เครื่องชนิดอัตโนมัติมีระดับความตรงใกล้เคียงกับชนิดปรับด้วยมือ โดยค่าความแตกต่างของระดับการได้ยินที่ตรวจวัดได้ส่วนใหญ่ไม่เกิน 10 เดซิเบล ความไวและความจำเพาะในการวินิจฉัยภาวะสูญเสียการได้ยินอยู่ในช่วงร้อยละ 95–100 และ 60–82 ตามลำดับ ทั้งนี้ผลอาจแตกต่างกันขึ้นกับระดับความถี่ที่ตรวจและเครื่องมือที่ใช้ อย่างไรก็ตาม บางการศึกษารายงานความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ความถี่สูง เช่น 4,000–8,000 เฮิรตซ์ ผลการทบทวนสนับสนุนว่าการทดสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดอัตโนมัติสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจเฝ้าระวังภาวะสุขภาพในบริบทของงานอาชีวเวชกรรมได้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ลดภาระบุคลากร และยังคงรักษาความน่าเชื่อถือของผลการทดสอบไว้ได้

คำสำคัญ: การทดสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดอัตโนมัติ / การทดสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดปรับด้วยมือ / โรคประสาทหูเสื่อมจากเสียงดัง

Abstract

One of the significant global health issues is hearing loss. Consequently, the demand for hearing tests has increased substantially for both diagnostic and preventive purposes, such as monitoring noise-exposed workers. However, conventional manual audiometry, which requires trained healthcare professionals to conduct hearing assessments, may not adequately meet this growing demand. As a result, automated audiometry has been developed to allow hearing tests to be conducted automatically. This literature review found that automated audiometry provides comparable accuracy to manual audiometry, with differences in hearing threshold levels generally within 10 decibels. The sensitivity and specificity for diagnosing hearing loss range from 95–100% and 60–82%, respectively, depending on the test frequency and the device used. However, some studies reported statistically significant



differences at higher frequencies, such as 4,000–8,000 Hz. The findings suggest that automated audiometry could be applied to health surveillance, especially in occupational health settings, to improve efficiency, reduce the workload of healthcare professionals and maintain validity of test results.

Keyword: Automated Audiometry / Manual Audiometry / Noise-Induced Hearing Loss

บทนำ

ในปัจจุบัน สถานการณ์ของการสูญเสียสมรรถภาพการได้ยิน (Hearing loss) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น¹ โดยในปี ค.ศ. 1985 มีความชุกของการสูญเสียสมรรถภาพการได้ยินที่เป็นอุปสรรคต่อการใช้ชีวิต (Disabling hearing loss) อยู่ต่ำกว่าร้อยละ 1 ของประชากรโลก และเพิ่มเป็นร้อยละ 2 และร้อยละ 5 ในปีค.ศ. 1995 และค.ศ.2021 ตามลำดับ โดยองค์การอนามัยโลกคาดการณ์ว่า ภายในปี ค.ศ. 2050 หรืออีกเพียง 26 ปีข้างหน้า ความชุกของการสูญเสียสมรรถภาพการได้ยินที่เป็นอุปสรรคต่อการใช้ชีวิตจะเพิ่มขึ้นเป็น 700 ล้านคน หรือกว่าร้อยละ 10 ของประชากรโลก² ในขณะเดียวกันสถานการณ์ของประเทศไทย พบว่ามีผู้ป่วยที่ได้รับการวินิจฉัยว่าเป็นโรคประสาทหูเสื่อมในกลุ่มวัยแรงงาน (15 – 59 ปี) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2558 - 2560 อยู่ที่ 16,532 ราย, 19,198 รายและ 13,125 รายตามลำดับจากสถิติจากสำนักโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม กรมควบคุมโรค³⁻⁵ และข้อมูลสถิติการเจ็บป่วยเนื่องจากการทำงานด้วยโรคประสาทหูเสื่อมจากการสัมผัสเสียงดังจากสำนักงานกองทุนเงินทดแทน กระทรวงแรงงาน⁶ ปี พ.ศ.2562 – 2566 พบว่ามีจำนวน 28 ราย คิดเป็นความชุกที่ร้อยละ 4.7

โรคประสาทหูเสื่อมจากการสัมผัสเสียงดัง (Noise – induced hearing loss) เป็นการสูญเสียสมรรถภาพการได้ยินชนิดประสาทรับเสียงบกพร่อง (Sensorineural hearing loss) ที่พบมากเป็นอันดับสองรองจากภาวะหูตึงในผู้สูงอายุ (Presbycusis)⁷ เกิดขึ้นจากความผิดปกติของหูชั้นใน ซึ่งทั่วโลกให้ความสนใจเพราะเป็นโรคที่สามารถป้องกันได้ โดยโรคประสาทหูเสื่อมจากการสัมผัสเสียงดังนี้อาจเกิดขึ้นที่หูข้างเดียวหรือสองข้าง เกิดชั่วคราวหรือถาวร ระยะเวลาในการเกิดโรคและความรุนแรงในการเกิดโรคนั้นขึ้นอยู่กับระดับความเข้มเสียงและระยะเวลาที่สัมผัสเสียงดัง^{8,9}

มาตรการป้องกันอันตรายจากการสัมผัสเสียงดังที่พบได้ และมีความสำคัญคือ มาตรการอนุรักษ์การได้ยิน (Hearing conservation program) ซึ่งอาศัยการทดสอบสมรรถภาพการได้ยิน (Hearing assessment) ในการเฝ้าระวังทางสุขภาพ ซึ่งการทดสอบสมรรถภาพการได้ยินที่นิยมใช้ในปัจจุบันคือ การตรวจการได้ยินโดยใช้เสียงบริสุทธิ์ (Pure tone audiometry)¹⁰ โดยเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบสมรรถภาพการได้ยินนี้เรียกว่า เครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยินชนิดปรับด้วยมือ (Manual

Audiometer) ซึ่งมีข้อจำกัด เช่น ผู้ควบคุมการทดสอบต้องมีทักษะและความชำนาญ ผู้ควบคุมการทดสอบไม่สามารถทำการทดสอบพร้อมกันหลายคนได้ ต้องทำการทดสอบทีละคน อาจเกิดข้อผิดพลาดของการทดสอบจากมนุษย์หรือ Human Error

ในปัจจุบันมีการพัฒนาเครื่องมือชนิดใหม่คือเครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยินชนิดอัตโนมัติ (Automated Audiometer) ซึ่งสามารถปรับความเข้มเสียง ความถี่เสียง และบันทึกผลได้อย่างอัตโนมัติ ทำให้ลดข้อผิดพลาดในการตรวจ ลดระยะเวลาในการตรวจ รวมถึงช่วยลดภาระงานของผู้ควบคุมการตรวจได้¹¹ เครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยินชนิดอัตโนมัติจึงอาจช่วยพัฒนารูปแบบการทำงานในด้านงานอาชีวอนามัย เช่น การตรวจสุขภาพ การเฝ้าระวังการสูญเสียการได้ยิน และการทำมาตรการอนุรักษ์การได้ยินได้ ผู้เขียนจึงทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการเปรียบเทียบการทดสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดปรับด้วยมือกับชนิดอัตโนมัติเพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพของการทดสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดอัตโนมัติ เพื่อหาข้อสรุปว่าวิธีการทดสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดอัตโนมัติสามารถทดแทนวิธีการทดสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดปรับด้วยมือได้หรือไม่ และสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานอาชีวอนามัยได้หรือไม่

ระเบียบวิธีวิจัย

การทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ (Systematic Review) ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิผลของการทดสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดอัตโนมัติ เมื่อเปรียบเทียบกับ การทดสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดปรับด้วยมือ โดยบทความวิจัยที่นำมารวมในการทบทวนวรรณกรรมนี้จะถูกคัดเลือกตามเกณฑ์ที่กำหนด ดังนี้

ประเภทการศึกษา: งานวิจัยเชิงทดลองแบบสุ่มและมีกลุ่มควบคุม (Randomized Controlled Trials: RCTs), งานวิจัยแบบ Cohort studies, หรือ Cross-sectional studies ที่มี การเปรียบเทียบผลการทดสอบสมรรถภาพการได้ยินระหว่างวิธีการทดสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดอัตโนมัติกับชนิดปรับด้วยมือ

ประชากร/กลุ่มตัวอย่าง: กลุ่มประชากรทุกช่วงวัยที่เข้ารับการทดสอบสมรรถภาพการได้ยิน

การดำเนินการ (Intervention): การทดสอบสมรรถภาพการได้ยินโดยใช้เครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยินชนิดอัตโนมัติ

(เช่น เครื่องมือแบบแท็บเล็ต, สมาร์ทโฟน, เครื่องตรวจสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดปรับตัวด้วยมือที่มีโหมดอัตโนมัติ)

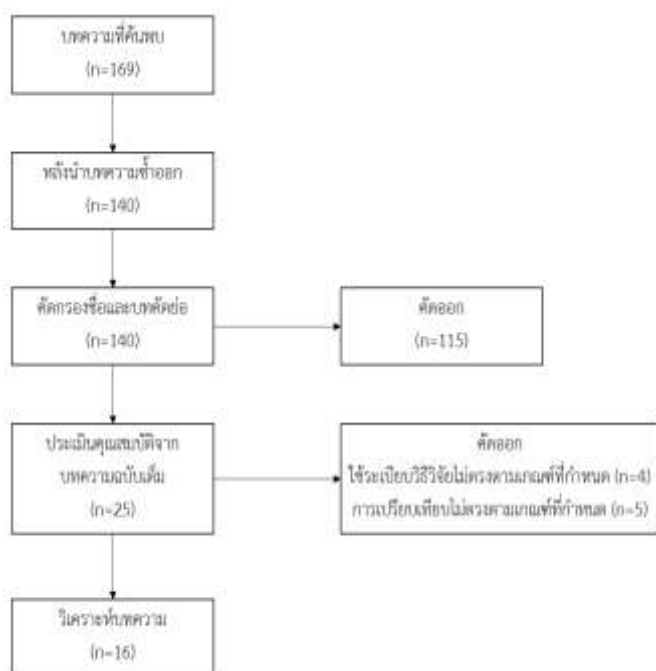
การเปรียบเทียบ (Comparison): การทดสอบสมรรถภาพการได้ยินด้วยเครื่องตรวจสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดปรับตัวด้วยมือโดยผู้เชี่ยวชาญ

ผลลัพธ์ที่สนใจ (Outcomes): ค่า Hearing Threshold Level (dB HL), ความถูกต้อง (Accuracy), ความไว (Sensitivity), ความจำเพาะ (Specificity), และความน่าเชื่อถือ (Reliability) ของเครื่องมือแต่ละประเภท

ภาษาและปีที่ตีพิมพ์: บทความที่ตีพิมพ์เป็นภาษาอังกฤษระหว่างปี พ.ศ. 2550 ถึง พ.ศ. 2567

การค้นหาคำค้นหาคำในฐานข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์หลัก ได้แก่ PubMed, Scopus และ Google Scholar โดยใช้คำสำคัญ (Keywords) ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบสมรรถภาพการได้ยินอัตโนมัติและแบบปรับตัวด้วยมือ คือ “automated audiometry” “manual audiometry” “validity”

บทความที่ได้จากการค้นหาทั้งหมด 169 บทความ จากนั้นทำการคัดกรองบทความวิจัยที่ซ้ำและไม่เกี่ยวข้องกับประเด็นที่สนใจออก คงเหลือ 16 บทความ **ดังภาพที่ 1** จากนั้นข้อมูลที่ได้นำมาสังเคราะห์ในเชิงคุณภาพ (Narrative synthesis) โดยการเปรียบเทียบและสรุปผลลัพธ์ที่สำคัญจากแต่ละบทความ



ภาพที่ 1 แสดงแผนภาพในการคัดเข้าและคัดออกบทความ

ผลการวิจัย

1. การทดสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดปรับตัวด้วยมือ (Manual Audiometry)

การทดสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดปรับตัวด้วยมือ (Manual Audiometry) เป็นแนวทางที่นิยมใช้ในปัจจุบัน เนื่องจากใช้งานง่ายและมีอายุการใช้งานยาวนาน หลักการตรวจจะใช้เสียงบริสุทธิ์ (Pure tone audiometry) โดยผู้ทำควบคุมการทดสอบจะทำการเลือกความถี่และเลือกระดับความเข้มเสียงที่ต้องการทดสอบ ทำการกดปุ่มปล่อยสัญญาณเสียง (Signal) ไปยังหูฟังที่ผู้เข้ารับการทดสอบสวมใส่ หากผู้เข้ารับการทดสอบได้ยินเสียงจะกดปุ่มส่งสัญญาณกลับมา โดยวิธีการหาระดับเสียงที่ต่ำที่สุดที่ผู้เข้ารับการตรวจสามารถได้ยิน เรียกว่า Modified Hughson & Westlake method คือการที่ลดระดับความเข้มเสียงลง 10 เดซิเบลเมื่อผู้เข้ารับการตรวจได้ยิน และเพิ่มระดับความเข้มเสียง 5 เดซิเบลเมื่อผู้เข้ารับการตรวจไม่ได้ยิน เพื่อหาระดับเสียงที่ต่ำที่สุดที่ได้อินอย่างน้อยร้อยละ 50¹²⁻¹⁴

การทดสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดปรับตัวด้วยมือจำเป็นต้องใช้ผู้ควบคุมการทดสอบที่มีความรู้ความชำนาญเพื่อที่จะสามารถควบคุมการทดสอบได้อย่างมีมาตรฐานเดียวกัน โดยคุณสมบัติของผู้ควบคุมการทดสอบได้มีการระบุไว้ในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แนวปฏิบัติการตรวจสุขภาพตามปัจจัยเสี่ยงด้านเคมีและกายภาพจากการประกอบอาชีพในสถานประกอบกิจการ พ.ศ.2555¹⁰ คือนักโสตสัมผัสวิทยา (Audiologist) หรือผู้ที่ผ่านการฝึกอบรมหลักสูตรวิธีการทดสอบสมรรถภาพการได้ยินและการใช้เครื่องมือซึ่งได้รับการรับรองหลักสูตรโดยกระทรวงสาธารณสุขหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

ดังนั้นข้อจำกัดของการทดสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดปรับตัวด้วยมือคือการทดสอบจำเป็นต้องใช้ผู้ควบคุมการทดสอบที่มีความรู้ความชำนาญในการควบคุมอุปกรณ์ รวมถึงระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบยาวนาน และอาจเกิดความคลาดเคลื่อนจากการเปลี่ยนผู้ควบคุมการทดสอบได้¹⁵ วิธีการทดสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดปรับตัวด้วยมือ **ดังภาพที่ 2**

2. การทดสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดอัตโนมัติ (Automated Audiometry)

ในปัจจุบันที่เทคโนโลยีมีความก้าวหน้า จึงมีการคิดค้นเครื่องตรวจสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดอัตโนมัติ (Automated Audiometer) ที่ใช้หลักการตรวจแบบเดียวกับการตรวจการได้ยินโดยใช้เสียงบริสุทธิ์โดยการเลือกความถี่และระดับความเข้มเสียง



ภาพที่ 2 การทดสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดปรับด้วยมือ
(Manual audiometry)

ที่มา: ถ่ายเมื่อวันที่ 1 พฤษภาคม 2568
โดยพศวีร์ วินันทมาลากุล

รวมถึงจัดบันทึกผลการทดสอบสมรรถภาพการได้ยินอย่างอัตโนมัติ ผู้ควบคุมการทดสอบทำหน้าที่สังเกตการณ์เพียงเท่านั้น การทดสอบสมรรถภาพการได้ยินด้วยเครื่องตรวจสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดอัตโนมัติจึงช่วยลดข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากการควบคุมโดยมนุษย์ และเพิ่มความสะดวกสบายในการทดสอบ¹¹ ทั้งนี้ ยังไม่มีงานวิจัยใดที่นำเครื่องตรวจสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดอัตโนมัติมาใช้ในการอาชีวอนามัยรวมถึงการตรวจสอบสุขภาพ

โดยเครื่องตรวจสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดอัตโนมัติชนิดแรกเกิดขึ้นในปี ค.ศ.1947 โดยใช้วิธี Bekesy method ซึ่งเครื่องมือทดสอบจะทำการเพิ่ม-ลดระดับความเข้มเสียงและความถี่เสียงโดยอัตโนมัติ ซึ่งผู้เข้ารับการทดสอบจะมีหน้าที่ในการกดปุ่มเพื่อตอบสนอง การบันทึกผลจะอาศัยหลักการขึ้นลงของระดับความดัง (Fluctuation) ว่าอยู่ที่ใดเคซิเบล ผู้ควบคุมการทดสอบจะทำหน้าที่เลือกความถี่เสียงเท่านั้น ไม่ได้ทำการเพิ่มหรือลดระดับความดังเสียง¹⁶ ซึ่งขั้นตอนการอ่าน แปลผล และบันทึกผลการทดสอบยังคงเป็นหน้าที่ของผู้ควบคุมการทดสอบ

ต่อมามีการพัฒนาเครื่องตรวจสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดอัตโนมัติโดยอ้างอิงวิธีการทดสอบจาก Hughson & Westlake ในปี ค.ศ. 1972 โดยใช้คอมพิวเตอร์ในการควบคุมระดับความดังเสียง และได้มีการพัฒนารูปแบบวิธีการโต้ตอบระหว่างเครื่องตรวจสอบสมรรถภาพการได้ยินและผู้เข้ารับการทดสอบเรื่อยมา เช่น เพิ่มปุ่มในการตอบสนองเป็น ได้ยิน (Yes) กับ ไม่ได้ยิน (No) เป็นต้น¹⁷ เพื่อให้สะดวกต่อการใช้งาน

เครื่องตรวจสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดอัตโนมัติในยุคปัจจุบันมี 2 รูปแบบหลัก หนึ่งคือตัวเครื่องมีลักษณะต่างจากเครื่องตรวจสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดปรับด้วยมือ โดยอาจเป็นลักษณะของหูฟังชนิดพิเศษที่ทำงานร่วมกับคอมพิวเตอร์ เช่น

KUDUwave เป็นต้น หรือเป็นลักษณะของอุปกรณ์แทปเล็ตขนาดเล็ก เช่น AMTAS เป็นต้น และบางชนิดใช้เพียงคอมพิวเตอร์หรือโทรศัพท์มือถือร่วมกับหูฟังชนิดใดก็ได้ เช่น DigiBel uHear เป็นต้น โดยข้อดีคือพกพาสะดวก ในบางรุ่นมีราคาที่ย่อมเยากว่าเครื่องตรวจสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดปรับด้วยมือ สามารถเข้าถึงการตรวจสอบสมรรถภาพการได้ยินได้ง่าย อีกทั้งสามารถใช้ในพื้นที่ห่างไกล หรือในบริบทของ Telemedicine ได้อีกด้วย สามารถรายงานผลลงจากการที่ผู้เข้ารับการทดสอบกดผิด เช่น ไม่มีการปล่อยสัญญาณเสียงแต่มีการตอบสนองกลับมา เป็นต้น¹⁷⁻²¹ ตัวอย่างเครื่องตรวจสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดอัตโนมัติแบบแทปเล็ตดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 เครื่องตรวจสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดอัตโนมัติ
ยี่ห้อ AMTAS

ที่มา: บริษัท grason-stadler²²

รูปแบบที่สองคือเครื่องตรวจสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดปรับด้วยมือที่มีโหมดการทดสอบชนิดอัตโนมัติเพิ่มเติมขึ้นมาจากโหมดปรับด้วยมือ เครื่องตรวจสอบสมรรถภาพการได้ยินรูปแบบนี้จะมีลักษณะของปุ่มปรับความถี่และระดับความเข้มเสียง หากแต่เพียงเพิ่มรูปแบบวิธีการตรวจ Auto Threshold หรือ Auto level ซึ่งในเครื่องตรวจสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดปรับด้วยมือแต่ละรุ่นจะมีความแตกต่างกันออกไป ตัวอย่างที่พบได้ เช่น เครื่องตรวจสอบสมรรถภาพการได้ยิน ยี่ห้อ Resonance GSI^{10, 23} แต่จากการค้นคว้าพบว่าไม่มีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับการทดสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดปรับด้วยมือ

3. ความตรงของการทดสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดอัตโนมัติ

การศึกษาความตรง (Validity) ของการทดสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดอัตโนมัตินั้นได้จากการนำผลการทดสอบสมรรถภาพการได้ยินหรือ Hearing Threshold Level ที่ได้จากเครื่องมือมาตรฐาน ซึ่งในที่นี้คือเครื่องตรวจสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดปรับด้วยมือ (Manual audiometer) มาเปรียบเทียบกับหาความแตกต่างกัน ในบางงานวิจัยมีการนำเครื่องตรวจสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดอัตโนมัติมาใช้ในการวินิจฉัยภาวะการได้ยินผิดปกติ

(Hearing loss) ดังนั้นจึงมีการคำนวณหาค่าความไวและความจำเพาะในการวินิจฉัยดังกล่าวเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยินชนิดปรับด้วยมืออีกด้วย

Margolis et al. (2010) พบว่าเครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยินชนิดอัตโนมัติให้ผลการทดสอบไม่แตกต่างจากเครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยินชนิดปรับด้วยมือ¹⁷ ผลการศึกษาในเรื่องของความไวของเครื่องมืออัตโนมัติ (Sensitivity) พบว่าอยู่ที่ร้อยละ 71 และค่าความจำเพาะ (Specificity) อยู่ที่ร้อยละ 91 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับเครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยินชนิดปรับด้วยมือ²⁴ และเมื่อนำมาศึกษาเรื่องความสามารถในการใช้วินิจฉัยโรคประสาทหูเสื่อม (Sensorineural hearing loss) พบว่าที่ความถี่ 0.5 1 2 kHz มีความไวที่ดี แต่มีปัญหาเรื่องความไวที่ความถี่ 4 kHz ซึ่งเป็นความถี่ที่มีความสำคัญในการวินิจฉัยโรคประสาทหูเสื่อมจากการทำงาน²⁵

ต่อมาพบว่ามีการวิจัยที่นำเครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยินชนิดอัตโนมัติมาใช้ทดสอบความเที่ยงตรงมากขึ้น พบว่าผลที่ได้มีความใกล้เคียงกันหรือแตกต่างกันไม่เกิน 10 เดซิเบลซึ่งเป็นความเข้มเสียงที่ยอมรับได้ (Test-retest variability) โดยมีการศึกษาทั้งในประเทศสหรัฐอเมริกา ประเทศแอฟริกาใต้ ประเทศออสเตรเลีย และประเทศสิงคโปร์²⁶⁻²⁹

การวิจัยเกี่ยวกับความตรงของ Govender and Mars (2018) และ Liu et al. (2023) คือผลการทดสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดอัตโนมัติไม่แตกต่างจากชนิดปรับด้วยมือในทุกความถี่^{15, 30} ในขณะที่งานวิจัยของ Brennan-Jones et al. (2016) พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยยะสำคัญทางสถิติที่ความถี่ 0.5 1 2 kHz ซึ่งถือเป็นความถี่ที่สำคัญในการประเมินสมรรถภาพการได้ยิน โดยอาจเกิดจากการทดสอบที่ไม่ได้ทำในตู้เก็บเสียง³¹ และงานวิจัย Liu

et al. (2022) พบความแตกต่างอย่างมีนัยยะสำคัญทางสถิติที่ความถี่ 8 kHz ซึ่งเป็นอีกความถี่ที่สำคัญในงานอาชีวอนามัย³²

Guo et al. (2021) ได้ทำการวิจัยโดยใช้หูฟังไร้สาย (True Wireless Headphone) ร่วมกับโปรแกรมการทดสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดอัตโนมัติบนคอมพิวเตอร์ พบว่าให้ผลการทดสอบไม่แตกต่างจากเครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยินชนิดปรับด้วยมือ จุดเด่นของงานวิจัยชิ้นนี้คือมีการทดสอบที่ความถี่ 3000 Hz ซึ่งมีความสำคัญในงานอาชีวอนามัยและความปลอดภัยโดย ค่าความไวของทุกความถี่เท่ากับร้อยละ 95 และค่าความจำเพาะเท่ากับร้อยละ 63³³

สำหรับวิธีการทดสอบสมรรถภาพการได้ยินด้วยโปรแกรมบนโทรศัพท์มือถือ ผลการศึกษาของ Szudek et al. (2012) และการศึกษาของ Abu-Ghanem et al. (2016) พบว่าโปรแกรม uHear มีความไวในการวินิจฉัยโรคประสาทหูเสื่อมอยู่ในช่วงร้อยละ 98.2 - 100 และค่าความจำเพาะที่ร้อยละ 60 - 82.1^{34, 35} และการศึกษาของ Yeung et al. (2015) ที่พบค่าความไวอยู่ในช่วงร้อยละ 91.2 และค่าความจำเพาะที่ร้อยละ 57.8³⁶ ในขณะที่การทดสอบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และหูฟังที่มีคุณภาพ พบว่าผลการทดสอบไม่แตกต่างจากเครื่องตรวจสมรรถภาพการได้ยินชนิดปรับด้วยมือในทุกความถี่ คาดว่าเนื่องจากการใช้เครื่องมือที่มีประสิทธิภาพและมีการควบคุมเสียงรบกวนพื้นหลังในขณะทดสอบ¹⁹

โดยบทความวิจัยที่มีการเปรียบเทียบผลการทดสอบสมรรถภาพการได้ยินด้วยวิธีการทดสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดอัตโนมัติกับชนิดปรับด้วยมือ โดยสรุปข้อมูลสำคัญ เช่น จำนวนกลุ่มตัวอย่าง วิธีการทดสอบ และสรุปผลการเปรียบเทียบระหว่างเครื่องมือทั้งสองชนิดได้รวบรวมอยู่ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สรุปผลการศึกษาเปรียบเทียบผลการทดสอบสมรรถภาพการได้ยินด้วยวิธีการทดสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดอัตโนมัติกับชนิดปรับด้วยมือ

ลำดับ	ผู้วิจัย (ปี)	เครื่องมือที่ใช้ทดสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดปรับด้วยมือ	n	เครื่องมือที่ใช้ทดสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดอัตโนมัติ	ความถี่ที่ทดสอบ (kHz)	สรุปผลการเปรียบเทียบ	ความไว	ความจำเพาะ
1	Yeo Kai Hui et al. (2023)	GN Otometrics Madsen Itera	80	AMTAS Pro v1.1	0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8 kHz	ไม่แตกต่างกัน	–	–
2	Brennan-Jones et al. (2016)	Acoustic Analyser AA30	42	KUDUwave	0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8 kHz	ไม่แตกต่างกันที่ความถี่ 4 kHz และ 8 kHz	–	–



ตารางที่ 1 สรุปผลการศึกษาเปรียบเทียบผลการทดสอบสมรรถภาพการได้ยินด้วยวิธีการทดสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดอัตโนมัติกับชนิดปรับด้วยมือ (ต่อ)

ลำดับ	ผู้วิจัย (ปี)	เครื่องมือที่ใช้ ทดสอบสมรรถภาพ การได้ยินชนิดปรับ ด้วยมือ	n	เครื่องมือที่ใช้ ทดสอบสมรรถภาพ การได้ยินชนิด อัตโนมัติ	ความถี่ที่ ทดสอบ (kHz)	สรุปผลการ เปรียบเทียบ	ความ ไว	ความ จำเพาะ
3	Eikelboom et al. (2013)	Interacoustics AC 40 หรือ GSI 61 audiometer	44	AMTAS	0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8 kHz	ไม่แตกต่างกัน	–	–
4	Margolis et al. (2010)	Madsen Conera	30	AMTAS	0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8 kHz	ไม่แตกต่างกัน	–	–
5	Margolis et al. (2011)	GSI 61 audiometer	68	AMTAS with Benson CCA-100 Mini	0.5, 1, 2, 4, 8 kHz	ไม่แตกต่างกัน	71	91
6	Margolis and Moore (2011)	GSI 61 audiometer	13	AMTAS with Madsen Aurical	0.5, 1, 2, 4, 8 kHz	แตกต่างกันที่ความถี่ 0.25, 0.5, 1 และ 2 kHz	–	–
7	Swanepoel and Biagio (2011)	GSI 61 audiometer	30	KUDUwave 5000	0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8 kHz	ไม่แตกต่างกัน	–	–
8	Govender and Mars (2018)	Interacoustics Clinical Audiometer AC33	50	KUDUwave 5000	0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8 kHz	ไม่แตกต่างกัน	–	–
9	Liu et al. (2022)	Otometrics Conera	10 0	KUDUwave	0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8 kHz	แตกต่างกันที่ความถี่ 0.25 kHz และ 8 kHz	–	–
10	Swanepoel de et al. (2010)	Conventional audiometer	38	KUDUwave 5000	0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8 kHz	ไม่แตกต่าง	–	–
11	Guo et al. (2021)	Conventional PTA	20	MATLAB program	0.25, 0.5, 1, 2, 3, 4, 8 kHz	ไม่แตกต่างกัน	95	63
12	Mahomed-Asmail et al. (2016)	GSI Auto Tympanometry / AT 235	62	hearScreen Android OS with KUDUwave	0.5, 1, 2, 4 kHz	ไม่แตกต่างกัน	–	–
12	Whitton et al. (2016)	Conventional audiometer	40	Tablet base audiometer	0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8 kHz	ไม่แตกต่างกัน	–	–
14	Szudek et al. (2012)	Standard air conduction threshold screening	10 0	uHear iOS app	0.25, 0.5, 1, 2, 4, 6 kHz	ไม่แตกต่างกัน	98	82

ตารางที่ 1 สรุปผลการศึกษาเปรียบเทียบผลการทดสอบสมรรถภาพการได้ยินด้วยวิธีการทดสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดอัตโนมัติกับชนิดปรับด้วยมือ (ต่อ)

ลำดับ	ผู้วิจัย (ปี)	เครื่องมือที่ใช้ทดสอบ สมรรถภาพการได้ยิน ชนิดปรับด้วยมือ	n	เครื่องมือที่ใช้ ทดสอบสมรรถภาพ การได้ยินชนิด อัตโนมัติ	ความถี่ที่ ทดสอบ (kHz)	สรุปผลการ เปรียบเทียบ	ความ ไว	ความ จำเพาะ
15	Abu- Ghanem et al. (2016)	Interacoustics Clinical Audiometer AC33	26	uHear iOS app	0.25, 0.5, 1, 2, 4, 6 kHz	ไม่แตกต่างกัน	100	60
16	Yeung et al. (2015)	Clinical Audiometer	79	Tablet base audiometer (iPad 2)	0.5, 1, 2, 4 kHz	แตกต่างกันที่ ความถี่ 0.5 kHz	91.2	57.8

อภิปรายผลการวิจัย

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องพบว่าการทดสอบสมรรถภาพการได้ยินด้วยเครื่องตรวจสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดอัตโนมัติให้ผลใกล้เคียงกันกับการทดสอบด้วยเครื่องตรวจสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดปรับด้วยมือ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของเครื่องตรวจสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดอัตโนมัติ โดยมีค่าความไวของเครื่องมือ (Sensitivity) และค่าความจำเพาะของเครื่องมือ (Specificity) อยู่ในระดับสูง ในแต่ละความถี่เสียงอาจมีค่าความตรงที่แตกต่างกันได้

ข้อได้เปรียบของเครื่องตรวจสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดอัตโนมัติคือผู้ควบคุมการทดสอบเพียงคนเดียวสามารถทำการทดสอบแล้วให้เครื่องมือทำการทดสอบอย่างอัตโนมัติจนสิ้นสุดการทดสอบ หากใช้เครื่องตรวจสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดปรับด้วยมือ ผู้ควบคุมการทดสอบจำเป็นต้องควบคุมความถี่เสียง ระดับความดัง และจดบันทึกด้วยตัวเอง ดังนั้นหากมีเครื่องตรวจสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดอัตโนมัติจำนวนหลายเครื่อง ผู้ควบคุมการทดสอบเพียงคนเดียวสามารถทำการทดสอบสมรรถภาพการได้ยินในพนักงานจำนวนมากขึ้นในเวลาเดียวกันเนื่องจากผู้ควบคุมการทดสอบเพียงตั้งค่าเครื่องเท่านั้น สามารถประหยัดเวลาในการทดสอบ ทำให้คัดกรองสมรรถภาพการได้ยินได้มากขึ้นกว่าการใช้วิธีการเดิมที่ต้องการผู้ควบคุมการทดสอบคุมเครื่องแบบหนึ่งต่อหนึ่ง ลดการใช้ทรัพยากรแรงงานมนุษย์ รวมถึงเป็นเครื่องมือทุ่นแรงในการทำงานได้

ในกรณีที่ผู้ควบคุมการทดสอบอาจเกิดความเหนื่อยล้า หากมีผู้เข้ารับการทดสอบเป็นจำนวนมากร่วมกับต้องทำงานเป็นระยะเวลานาน รวมถึงอาจมีตัวแปรกวน เช่น การเปลี่ยนผู้ควบคุมการทดสอบสมรรถภาพการได้ยินในแต่ละครั้งที่ทำการทดสอบ อาจ

ทำให้ผลที่ออกมาในแต่ละปีมีความแตกต่างกันได้ ดังนั้นเครื่องตรวจสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดอัตโนมัติจึงสามารถลดโอกาสในการเกิดข้อผิดพลาดในส่วนนี้¹¹

เครื่องตรวจสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดอัตโนมัติหลายชนิดสามารถใช้ทดสอบนอกสถานที่ หรือในพื้นที่ห่างไกลที่อาจไม่มีตู้เก็บเสียงได้ เนื่องจากมีความสามารถในการวัดเสียงรบกวนรอบข้าง ทำให้ยังคงสามารถควบคุมคุณภาพการทดสอบสมรรถภาพการได้ยิน อีกทั้งเครื่องมือยังมีลักษณะเบา พกพาสะดวก จึงสามารถเคลื่อนย้ายได้ในขณะที่เครื่องตรวจสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดปรับด้วยมือถูกออกแบบให้ติดตั้งอยู่กับที่ และมีน้ำหนักมากกว่า¹¹

ข้อจำกัดของเครื่องตรวจสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดอัตโนมัติคือเรื่องความตรงของผลการทดสอบที่แต่ละยี่ห้อหรือแต่ละรูปแบบยังคงมีความแตกต่างกัน รวมถึงการใช้งานในกลุ่มประชากรที่มีความเข้าใจในเทคโนโลยีน้อย เช่น ผู้สูงอายุ เด็กเล็ก ผู้ที่มีปัญหาทางสมอง อาจไม่สามารถใช้เครื่องมือนี้ในการทดสอบสมรรถภาพการได้ยินได้ แต่เนื่องจากกลุ่มประชากรที่สนใจคือวัยแรงงาน ซึ่งคาดการณ์ว่าเป็นกลุ่มประชากรที่มีสุขภาพแข็งแรง อายุ 18-60 ปี จึงคาดว่าปัญหานี้อาจพบได้น้อย

ทั้งนี้การแปลผลการทดสอบสมรรถภาพการได้ยินที่ได้จากเครื่องตรวจสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดอัตโนมัติต้องเป็นไปด้วยความระมัดระวังเนื่องจากอาจมีความแตกต่างได้มากกว่า 10 dB และในบางความถี่ที่พบว่ามีความแตกต่างกันในบางงานวิจัย เช่น 4-8 kHz ซึ่งเป็นความถี่ที่สำคัญในงานอาชีวอนามัย

สรุปผลการวิจัย

วิธีการทดสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดอัตโนมัติมีประสิทธิภาพที่ไม่แตกต่างกับวิธีการทดสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดปรับด้วยมือและยังสามารถช่วยลดภาวะของบุคลากรทาง



การแพทย์ในการตรวจสอบสมรรถภาพการได้ยินได้ ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ว่าการนำเครื่องตรวจสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดอัตโนมัติมาใช้ในบริบทงานอาชีพจะสามารถลดภาระของบุคลากรทางการแพทย์ที่ยังคงคุณภาพการตรวจใกล้เคียงกันกับการทดสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดปรับตัวมือ ทั้งนี้ยังไม่มีงานวิจัยที่ใช้เครื่องตรวจสอบสมรรถภาพการได้ยินชนิดอัตโนมัติในงานอาชีพอนามัยที่เน้นการทดสอบเพื่อการคัดกรอง (Screening test) และการเฝ้าระวัง (Surveillance) นอกเหนือจากการทดสอบเพื่อการวินิจฉัย (Diagnostic test) ดังนั้นจึงควรมีการพัฒนาแนวทางการใช้เครื่องตรวจสอบสมรรถภาพการได้ยินในงานอาชีพอนามัยเพื่อนำไปสู่การนำไปใช้ในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

1. Olusanya BO, Neumann KJ, Saunders JE. The global burden of disabling hearing impairment: a call to action. *Bull World Health Organ*. 2014;92(5):367-73.
2. WHO. Deafness and hearing loss Online: World Health Organization; 2024 [updated 2 February 2024; cited 2024 September, 14th]. Available from: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/deafness-and-hearing-loss>.
3. Diseases BoOaE. Report on the Situation of Occupational and Environmental Diseases and Health Hazards, 2016. Department of Disease Control: Department of Disease Control, Health Mo; 2017.
4. Diseases BoOaE. Report on the Situation of Occupational and Environmental Diseases and Health Hazards, 2015. Department of Disease Control: Department of Disease Control, Health Mo; 2017.
5. Diseases BoOaE. Report on the Situation of Occupational and Environmental Diseases and Health Hazards, 2017. Department of Disease Control: Department of Disease Control, Health Mo; 2018.
6. Office SS. Situation of Occupational injury and diseases, 2019-2023. Bangkok: Contribution Rate Determination Division, Workmen's Compensation Fund Office, under the Social Security Office, Ministry of Labour, Thailand; 2024. 20 p.
7. Natarajan N, Batts S, Stankovic KM. Noise-Induced Hearing Loss. *J Clin Med*. 2023;12(6).
8. Liberman MC. Noise-Induced Hearing Loss: Permanent Versus Temporary Threshold Shifts and the Effects of Hair Cell Versus Neuronal Degeneration. *Adv Exp Med Biol*. 2016;875:1-7.
9. Mazurek B, Olze H, Haupt H, Szczepek AJ. The more the worse: the grade of noise-induced hearing loss associates with the severity of tinnitus. *Int J Environ Res Public Health*. 2010;7(8):3071-9.
10. Guidelines in Physical Examination for Chemical and Physical Occupational Health Risk Factors in Workplace, (2012).
11. Margolis RH, Morgan DE. Automated Pure-Tone Audiometry: An Analysis of Capacity, Need, and Benefit. *American Journal of Audiology*. 2008;17(2):109-13.
12. audstudent. The Hughson-Westlake Method of Obtaining Threshold 2015 March 30. Available from: <http://audsim.com/docs/h-w.shtml>.
13. Carhart R, Jerger JF. Preferred method for clinical determination of pure-tone thresholds. *Journal of speech and hearing disorders*. 1959;24(4):330-45.
14. Thailand TAOaEDo. Guideline for Standardization and Interpretation of Audiometry in Occupational Health Setting 2018 Edition 2018. Available from: <https://drive.google.com/file/d/1cvNF8pGiF2Ki8wSuNGKJcoWk0M49x1kb/view?usp=sharing>.
15. Govender SM, Mars M. Validity of automated threshold audiometry in school aged children. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*. 2018;105:97-102.
16. Békésy Gv. A New Audiometer. *Acta Oto-Laryngologica*. 1947;35(5-6):411-22.
17. Margolis RH, Glasberg BR, Creeke S, Moore BCJ. AMTAS®: Automated method for testing auditory sensitivity: Validation studies. *Int J Audiol*. 2010;49(3):185-94.
18. Mahomed F, Swanepoel DW, Eikelboom RH, Soer M. Validity of Automated Threshold Audiometry: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Ear Hear*. 2013;34(6):745-52.
19. Whitton JP, Hancock KE, Shannon JM, Polley DB. Validation of a Self-Administered Audiometry Application: An Equivalence Study. *Laryngoscope*. 2016;126(10):2382-8.
20. Eksteen S, Launer S, Kuper H, Eikelboom RH, Bastawrous A, Swanepoel W. Hearing and vision screening for preschool children using mobile technology, South Africa. *Bull World Health Organ*. 2019;97(10):672-80.



21. Sienko A, Thirunavukarasu AJ, Kuzmich T, Allen L. An Initial Validation of Community-Based Air-Conduction Audiometry in Adults With Simulated Hearing Impairment Using a New Web App, DigiBel: Validation Study. *JMIR Form Res.* 2024;8:e51770.
22. grason-stadler. GSI AMTAS Flex Tablet Automated Audiometry 2023 [Available from: <https://www.grason-stadler.com/products/audiometers/gsi-amtas-flex>].
23. Occupational Safety and Health Administration. Occupational noise exposure [Internet] [cited 2024 Nov 20]. Available from: <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.95>.
24. Margolis RH, Frisina R, Walton JP. AMTAS®: automated method for testing auditory sensitivity: II. air conduction audiograms in children and adults. *Int J Audiol.* 2011;50(7):434-9.
25. Margolis RH, Moore BCJ. AMTAS®: Automated method for testing auditory sensitivity: III. Sensorineural hearing loss and air-bone gaps. *Int J Audiol.* 2011;50(7):440-7.
26. Eikelboom RH, Swanepoel DW, Motakef S, Upson GS. Clinical validation of the AMTAS automated audiometer. *Int J Audiol.* 2013;52(5):342-9.
27. Yeo Kai Hui H, Chua Wei De K, Kamath SH, Lee SLH. A pilot study to validate AMTAS in a specialist outpatient clinic at a public restructured hospital in Singapore. *Proc Singapore Healthcare.* 2023;32.
28. Mahomed-Asmail F, Swanepoel de W, Eikelboom RH. Diagnostic Hearing Assessment in Schools: Validity and Time Efficiency of Automated Audiometry. *J Am Acad Audiol.* 2016;27(1):42-8.
29. Swanepoel DW, Biagio L. Validity of Diagnostic Computer-Based Air and Forehead Bone Conduction Audiometry. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene.* 2011;8(4):210-4.
30. Liu H, Fu X, Li M, Wang S. Comparisons of air-conduction hearing thresholds between manual and automated methods in a commercial audiometer. *Front Neurosci.* 2023;17:1292395.
31. Brennan-Jones CG, Eikelboom RH, Swanepoel DW, Friedland PL, Atlas MD. Clinical validation of automated audiometry with continuous noise-monitoring in a clinically heterogeneous population outside a sound-treated environment. *Int J Audiol.* 2016;55(9):507-13.
32. Liu H, Du B, Liu B, Fu X, Wang Y. Clinical comparison of two automated audiometry procedures. *Front Neurosci.* 2022;16:1011016.
33. Guo Z, Yu G, Zhou H, Wang X, Lu Y, Meng Q. Utilizing True Wireless Stereo Earbuds in Automated Pure-Tone Audiometry. *Trends Hear.* 2021;25:23312165211057367.
34. Szudek J, Ostevik A, Dziegielewski P, Robinson-Anagor J, Gomaa N, Hodgetts B, Ho A. Can Uhear me now? Validation of an iPod-based hearing loss screening test. *J Otolaryngol Head Neck Surg.* 2012;41 Suppl 1:S78-84.
35. Abu-Ghanem S, Handzel O, Ness L, Ben-Artzi-Blima M, Fait-Ghelbendorf K, Himmelfarb M. Smartphone-based audiometric test for screening hearing loss in the elderly. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* 2016;273(2):333-9.
36. Yeung JC, Heley S, Beauregard Y, Champagne S, Bromwich MA. Self-administered hearing loss screening using an interactive, tablet play audiometer with ear bud headphones. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol.* 2015;79(8):1248-52.