

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษา ความสัมพันธ์ของลักษณะการทำงานภายในห้องปรับอากาศความกดดันสูงกับสมรรถภาพการได้ยิน ของพยาบาลหน่วยเวชศาสตร์ได้น้ำ และการบิน สังกัดกองทัพอากาศ ผู้วิจัยได้ทำการทบทวนเอกสารและงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษา โดยมีเนื้อหาครอบคลุมรายละเอียดในเรื่องต่อไปนี้

1. ความหมาย ประเภทและการวัดความกดดันบรรยากาศ
2. การเปลี่ยนแปลงความกดดันบรรยากาศที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา
3. ลักษณะงานและอันตรายจากการทำงานภายใต้ความกดดันบรรยากาศ
4. หูกับความกดดันบรรยากาศสูง
5. สมรรถภาพการได้ยิน

ความหมาย ประเภทและการวัดความกดดันบรรยากาศ

ความกดดันบรรยากาศ (Atmospheric Pressure) หมายถึง ผลลัพธ์ของน้ำหนักบรรยากาศที่ทำให้เกิดแรงบนผิวโลก ความกดดันนี้กระทำในทุกทิศทุกทางและเกือบทุก ๆ อย่าง รวมทั้งร่างกายของมนุษย์ ไม่ว่าจะส่งความดันไปอย่างอิสระหรือประสบกับความกดดันเท่า ๆ กัน ทั้งภายในและภายนอก ดังนั้นจึงไม่รู้สึกรู้ว่ามีความกดดันบรรยากาศอยู่โดยรอบ ๆ น้ำหนักของอากาศที่กดลงบนพื้นโลกเนื่องจากแรงดึงดูดของโลกในแนวตั้งฉากต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่เรียกว่า ความดันอากาศ หรือ ความกดดันบรรยากาศ ที่มักจะเขียนย่อว่า atm หรืออาจเรียกว่า Standard Atmosphere (ระดับ นาคแก้ว, 2551)

ความกดดันบรรยากาศ 1 บรรยากาศ (atm)

ความดันอากาศที่ระดับน้ำทะเลมีค่า 1 บรรยากาศ ซึ่งสามารถดันน้ำให้ขึ้นไปในสายยางที่ปิดปลายไว้ข้างหนึ่งได้สูงประมาณ 10 เมตร โปรทมีความหนาแน่นมากกว่าน้ำ โดยมีความหนาแน่น 13.6 กรัม/ ลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งความดัน 1 บรรยากาศ สามารถดันโปรทให้ขึ้นไปในหลอดแก้วปลายปิดได้สูงถึง 76 เซนติเมตร หรือ 760 มิลลิเมตร ดังนั้นหน่วยของความดันอากาศ จึงมีหน่วยเป็นมิลลิเมตรของปรอท พร้อมทั้งเรียกความดันของอากาศที่สามารถดันปรอทให้สูงขึ้น ไป 760 มิลลิเมตร ว่าเป็นความกดดันบรรยากาศ 1 บรรยากาศ ที่ระดับความสูงเดียวกัน ความกดดันบรรยากาศจะเท่ากัน ดังนั้น ที่ความสูงจากระดับน้ำทะเลเป็นระยะทางต่าง ๆ กัน ความ

กดดันบรรยากาศมีค่าไม่เท่ากัน ความกดดันบรรยากาศแปรผกผันกับความสูงจากระดับน้ำทะเล กล่าวคือ ความสัมพันธ์ระหว่างความกดดันบรรยากาศ และความสูงจากระดับน้ำทะเลเป็น ดังนี้

เมื่อความสูงจากระดับน้ำทะเลเพิ่มขึ้น ความกดดันบรรยากาศมีค่าลดลง หรือเรียก

ความกดดันบรรยากาศต่ำ

เมื่อความสูงจากระดับน้ำทะเลลดลง ความดันบรรยากาศมีค่าเพิ่มขึ้น หรือเรียก **ความกดดันบรรยากาศสูง**

การวัดความกดดันบรรยากาศ

หน่วยวัดความดันมีหลายหน่วย เช่น มิลลิเมตรปรอท หรือ torr หรือ microns เป็นหน่วยที่ถูกใช้โดยทั่วไป ในระบบการวัดแบบเมตริก หรือ metric unit ใช้ ปาสคาล (Passcal [Pa]) เป็นหน่วยมาตรฐาน แสดงหน่วยของการวัดความดัน

$$14.69 \text{ psia} = 760 \text{ torr} = 1 \text{ std atm} = 101.325 \text{ passcal}$$

เครื่องมือวัดความกดดันบรรยากาศ มีนักวิทยาศาสตร์ได้ทำการศึกษาค้นคว้าไว้จนสามารถสร้างเครื่องวัดความดันของอากาศได้นักวิทยาศาสตร์ที่ศึกษาเรื่องความดันของอากาศที่ควรรู้จักมี 2 ท่านด้วยกัน คือ กาลิเลโอ (Galileo) และเทอริเซลลี (TorriCelli) โดยศึกษาพบว่าอากาศสามารถดันของเหลว เช่น น้ำหรือปรอทให้เข้าไปอยู่ในหลอดแก้วที่เป็นสุญญากาศได้ จึงนำความรู้ดังกล่าวมาประยุกต์ใช้สร้างเครื่องวัดความดันบรรยากาศที่มีชื่อเรียกว่า บารอมิเตอร์ (Barometer) บารอมิเตอร์จะใช้ปรอทบรรจุไว้ในหลอดแก้วเนื่องจากมีคุณสมบัติที่ดีกว่าของเหลวอื่น ๆ

ชนิดของบารอมิเตอร์มีดังต่อไปนี้

1. บารอมิเตอร์แบบปรอท (Barometer) ประกอบด้วยหลอดแก้วยาวที่ปิดปลายด้านหนึ่งไว้ และทำให้เป็นสุญญากาศ นำไปคว่ำลงในอ่างที่บรรจุปรอทไว้ อากาศภายนอกจะกดดันให้ปรอทเข้าไปอยู่ในหลอดแก้วในระดับหนึ่งของหลอดแก้ว ระดับของปรอทจะเปลี่ยนแปลงไปตามความกดดันของอากาศ โดยความดัน 1 บรรยากาศจะดันปรอทให้สูงขึ้นไปได้ 76 เซนติเมตร หรือ 760 มิลลิเมตร

2. แอเนรอยด์บารอมิเตอร์ (Aneroid Barometer) ชนิดไม่ใช้ปรอทหรือของเหลวแบบอื่น ๆ เป็นบารอมิเตอร์ที่ทำเป็นตลับโลหะแล้วนำเอาอากาศออกจนเหลือน้อย (คล้ายจะทำให้เป็นสุญญากาศ) เมื่อมีแรงจากอากาศมากกดตลับโลหะ จะทำให้ตลับโลหะมีการเคลื่อนไหว ทำให้เข็มที่ติดไว้กับตัวตลับชี้บอกความกดดันของอากาศโดยทำสเกลบอกระดับความดันของอากาศไว้

แอเนรอยด์บารอมิเตอร์ประดิษฐ์โดยวีดี (Vidi) ในปี พ.ศ. 2388 มีขนาดเล็กพกพาไปได้สะดวก

3. บารอกราฟ (Barograph) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวัดความดันอากาศที่ใช้หลักการเดียวกับแอนนิรอยด์บารอมิเตอร์ แต่จะบันทึกความกดดันอากาศแบบต่อเนื่องลงบนกระดาษตลอดเวลาในลักษณะเป็นเส้นกราฟ

4. แอลติมิเตอร์ (Altimeter) เป็นแอนนิรอยด์บารอมิเตอร์ ที่นำมาประยุกต์ให้ใช้ความกดดันของอากาศวัดระดับความสูง แอลติมิเตอร์เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการบิน เครื่องมือที่นักกระโดดร่มใช้เพื่อการกระโดดร่ม

การเปลี่ยนแปลงความกดดันบรรยากาศที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา

ทฤษฎีทางกลศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา

มนุษย์ดำรงชีวิตอยู่ในบรรยากาศและสภาวะปกติของมนุษย์จะอยู่ในสภาพบรรยากาศที่ระดับพื้นโลก หรือ 1 บรรยากาศ (atm) เมื่ออยู่ในที่สูงหรือต่ำกว่า 1 บรรยากาศ ความกดดันบรรยากาศจะเปลี่ยนไป ทำให้เกิดผลต่อร่างกายหลายอย่าง บ้างก็ต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดอันตราย หรือโรคนั้น ขึ้นอยู่กับ สภาพร่างกาย และสภาพการทำงาน ซึ่งความกดดันบรรยากาศเป็นการเปลี่ยนแปลงทางกลศาสตร์ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยพฤติกรรมของแก๊สโดยสังเขป ดังนี้

พฤติกรรมของแก๊ส (The Behavior of Gases) แก๊สใด ๆ มีพฤติกรรมเปลี่ยนแปลงเนื่องมาจากปัจจัย 3 ประการใหญ่ คือ อุณหภูมิ ความกดดัน และ ปริมาตรของแก๊ส กฎของแก๊ส (Gas law) ได้อธิบายถึงความสัมพันธ์ของปัจจัยทั้งสาม ที่มีผลต่อพฤติกรรมของแก๊ส กฎของแก๊สที่เกี่ยวข้องกับการรักษาด้วยออกซิเจนความกดบรรยากาศสูง ได้แก่ Boyle's law, Henry's law และ Dalton's law

Boyle's law กล่าวว่า ถ้าอุณหภูมิคงที่ ปริมาตรของแก๊สจะเปลี่ยนแปลงเป็นสัดส่วนผกผันกับความดันแท้จริง และ ความหนาแน่นจะเปลี่ยนแปลงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความดันแท้จริง

Henry's law กล่าวว่า ณ อุณหภูมิหนึ่งที่กำหนดให้ความสามารถในการละลายของออกซิเจนของแก๊สในของเหลวเกือบจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความดันย่อยของแก๊สนั้น

Dalton's law กล่าวว่า ผลรวมของความดันย่อยของแก๊สแต่ละชนิดที่ผสมกันอยู่ในอากาศ จะมีค่าเท่ากับความดันรวมของอากาศนั้น

เมื่อความกดดันบรรยากาศเปลี่ยนแปลงมีผลให้แก๊สในร่างกายเปลี่ยนแปลงไปก่อให้เกิดอาการต่าง ๆ ที่เป็นอันตราย แก๊สที่เป็นปัญหาต่อร่างกาย แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

1. แก๊สที่ขังอยู่ในร่างกาย (Trapped Gas) เป็นแก๊สที่ขังอยู่ตามโพรงต่าง ๆ ของร่างกาย เช่น หูชั้นกลาง โพรงไซนัส กระเพาะอาหาร ลำไส้ ฟันและปอด เมื่อความกดดันบรรยากาศลดลง แก๊สต่าง ๆ จะมีปริมาตรมากขึ้นตรงกันข้าม ปริมาตรของแก๊สจะลดลงเมื่อความกดดันบรรยากาศเพิ่มขึ้น

2. แก๊สที่ละลายในร่างกาย (Evolved Gas) แก๊สที่อยู่ในร่างกายในรูปสารละลายที่สำคัญ คือ แก๊สไนโตรเจนซึ่งสะสมมากที่ไขมัน กล้ามเนื้อ ไขข้อ และเลือด เมื่อความกดดันลดลงถึงจุดหนึ่ง มันจะคืนตัวเป็นฟอง

2. การปฏิบัติงานภายใต้ความกดดันบรรยากาศ

ผู้ที่ปฏิบัติงานในที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงของความกดดันบรรยากาศ จะต้องมีการเตรียมและวางแผนการปฏิบัติงาน ดังนี้

2.1 การตรวจร่างกายของผู้ปฏิบัติงาน โดยผู้ปฏิบัติงานจะต้องไม่มีโรคเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจ เช่น หวัด, หลอดลมอักเสบ, ถุงลมโป่งพอง, หอบหืด (Asthma), โพรงเยื่อหุ้มปอดมีอากาศ (Pneumothorax), โรคของหู และ ไส้ซัสฯฯ ดังนั้นต้องมีการตรวจสุขภาพร่างกายแรกเข้าปฏิบัติงานและตรวจสุขภาพประจำปีรวมถึงต้องมีการทดสอบการปรับตัวภายใต้การเปลี่ยนแปลงความดันบรรยากาศและตรวจสอบการแพ้ออกซิเจน

2.2 การปฏิบัติงาน การทำงานที่เสี่ยงต่อการเกิดอันตรายจากความกดดันบรรยากาศ ก็คือต้องมีการอธิบายการปฏิบัติงาน การสังเกตอาการที่อาจจะเกิดขึ้น ให้ความรู้แก่ผู้ปฏิบัติงาน การดูแลสุขภาพตนเอง จะต้องมีการวางแผนการปฏิบัติงาน คือ ความลึกและระยะเวลาการปฏิบัติงาน เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน

2.3 อุปกรณ์ช่วยชีวิต ต้องมีการจัดให้มีเครื่องมือปฐมพยาบาล โดยเฉพาะ 100% Oxygen ซึ่งมีประโยชน์มากต่อโรคจากการความกดดันบรรยากาศ

2.4 การส่งกลับ มีการวางแผนการส่งกลับผู้ป่วยไปยังห้องปรับบรรยากาศความกดดันบรรยากาศสูงกรณีเกิดอันตรายจากความกดดันบรรยากาศ

2.5 ห้องปรับบรรยากาศความกดดันสูง (Hyperbaric Chamber) มีไว้เพื่อการตรวจสอบสมรรถภาพร่างกาย และเพื่อรักษาโรคที่เกิดจากความกดดันบรรยากาศ

2.6 ผู้ปฏิบัติงาน ต้องมีสุขภาพแข็งแรง เพราะการปฏิบัติงานภายใต้ความกดดันบรรยากาศจะช่วยลดอุบัติการณ์ของการเกิดโรคจากความกดดันบรรยากาศได้ แต่ไม่ได้หมายความว่าไม่เกิด 100% ยังมีปัจจัยเสริมอื่น ๆ ที่ทำให้เกิดโรคจากความกดดันบรรยากาศได้อีก เช่น ความสมบูรณ์ของร่างกาย ความอ้วน การปฏิบัติงานหนัก การพักผ่อน การขาดน้ำ

โรคประจำตัวต่าง ๆ ความเครียด ความกลัว รวมถึงปัจจัยส่วนบุคคลต่าง ๆ

ขณะที่ผู้ป่วยเข้ารับการรักษากายในหึ่งปรับบรรยากาศฯ จะมีพยาบาลปฏิบัติงานในหึ่งปรับบรรยากาศฯ เพื่อให้ความรู้ แนะนำการปฏิบัติตัวภายใต้ความกดบรรยากาศที่เปลี่ยนแปลง พยาบาลผู้ที่ปฏิบัติงานในหึ่งปรับบรรยากาศความกดดันสูงจะต้องผ่านการอบรมซึ่งเป็นหลักสูตรที่กองการศึกษา กรมแพทย์ทหารเรือ จัดร่วมกับกองเวชศาสตร์ใต้น้ำและการบินฯ ซึ่งเปิดอบรมให้กับพยาบาลผู้สนใจทั้งในและนอกกองทัพเรือ โดยเนื้อหาวิชาประกอบด้วย สรีรวิทยาใต้น้ำ เวชศาสตร์ใต้น้ำเบื้องต้น ตารางการดำน้ำ การดำน้ำด้วยอุปกรณ์ เหตุฉุกเฉินในการดำน้ำ หึ่งปรับบรรยากาศ ซึ่งมีทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ ระยะเวลาในการอบรม 3 เดือน และผู้ที่ปฏิบัติงานภายในหึ่งปรับบรรยากาศความกดดันบรรยากาศสูงต้องมีคุณสมบัติ (ระเบียบว่าด้วยการจ่ายและตัดเงินเพิ่มพิเศษรายเดือนสำหรับผู้ปฏิบัติงานในหึ่งปรับบรรยากาศ, 2544) ดังนี้

1. ได้รับการตรวจรับรองสมรรถภาพของร่างกายและจิตใจจากกรมแพทย์ทหารเรือว่าเหมาะสมกับการปฏิบัติงานในหึ่งปรับบรรยากาศ และต้องได้รับการตรวจสอบสมรรถภาพของร่างกายและจิตใจทุกปี
2. เป็นผู้สำเร็จการศึกษาตามหลักสูตรเวชศาสตร์ใต้น้ำ สรีรวิทยาใต้น้ำ เวชศาสตร์การบิน หรือสรีรวิทยาการบิน หลักสูตรใดหลักสูตรหนึ่งของกองทัพเรือ หรือหน่วยงานอื่นที่กองทัพเรือรับรอง
3. กองทัพเรือแต่งตั้งให้เป็นผู้ปฏิบัติงานในหึ่งปรับบรรยากาศ
4. ผู้ปฏิบัติงานในหึ่งปรับบรรยากาศที่เป็นข้าราชการชั้นสัญญาบัตรต้องมีอายุไม่เกิน 50 ปี ส่วนข้าราชการต่ำกว่าชั้นสัญญาบัตรต้องมีอายุไม่เกิน 45 ปี
5. ผู้ปฏิบัติงานในหึ่งปรับบรรยากาศ หากมีอายุเกินกำหนด แต่ผู้บังคับบัญชาพิจารณาแล้วเห็นว่า มีความสามารถที่จะปฏิบัติหน้าที่ต่อไปได้ และได้ผ่านการตรวจสอบสมรรถภาพของร่างกายและจิตใจจากกรมแพทย์ทหารเรือ

ลักษณะงานและอันตรายจากการทำงานภายใต้ความกดดันบรรยากาศ

ลักษณะงานและอันตรายจากการทำงานภายใต้ความกดดันบรรยากาศต่ำ
คือผลต่อร่างกายมนุษย์เมื่อต้องขึ้นไปอยู่ในที่สูง เช่น ในเครื่องบิน การไต่เขาสูงและในยานอวกาศ เป็นต้น เป็นผลโดยตรงที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงความกดดันบรรยากาศ โดยความกดดันบรรยากาศจะลดลงเรื่อย ๆ เมื่อขึ้นไปจากพื้นโลกซึ่งมีผลต่อให้แก๊สในร่างกายเปลี่ยนแปลงไป

ก่อให้เกิดอาการต่าง ๆ ที่เป็นอันตรายจากความกดดันบรรยากาศต่ำ (John Halpin, 2011) ดังนี้

1. ปวดท้องจากแก๊สขยายตัว (Gastro-Intestinal Gas Expansion)

กระเพาะอาหารและลำไส้ปกติจะมีแก๊สขังอยู่เมื่อขึ้นที่สูงความกดดันบรรยากาศต่ำ ปริมาตรของแก๊สจะขยายตัว ปริมาณของแก๊สจะเพิ่มขึ้นทำให้เกิดอาการแน่นท้อง ปวดท้อง ดันกระบังลมให้สูงขึ้น หายใจไม่สะดวกหรืออาจหมดสติเพราะความปวด

2. หูชั้นกลางอักเสบ (Barotitis Media หรือ Ear Block) หูชั้นกลางเป็นโพรงอากาศ

ที่มีกระดูกอ่อน ทั้ง โกลน ลอยอยู่ มีท่อยูสเตเชียน (Eustachian Tube) ติดต่อกับโพรงหูชั้นกลางกับลำคอส่วนบน (Nasopharynx) เพื่อปรับความกดดันในหูชั้นกลางให้เท่ากับเท่ากับบรรยากาศภายนอก ขณะขึ้นที่สูง แก๊สในหูชั้นกลางจะขยายตัวจนมีความกดดันมากกว่าภายนอก เกิดความรู้สึกหูอื้อเมื่อความกดดันแตกต่างกันประมาณ 15 มิลลิเมตรปรอท (mmHg) จะดันแก๊สให้ออกมาทางท่อยูสเตเชียน สู่ภายนอกเองโดยไม่ต้องทำอะไรเลยและจะได้ยินเสียง “ป๊อป” เป็นระยะ ๆ ซึ่งเกิดจากการตีกลับของเยื่อแก้วหู ยิ่งสูงขึ้นยิ่งได้ยินห่างเพราะความหนาแน่นของอากาศลดลง ในการขึ้นที่สูงการระบายอากาศออกจะเกิดได้เองไม่มีปัญหาใด ๆ แต่ขณะลดระดับความสูง ความกดดันบรรยากาศจะลดลง ปริมาตรแก๊สในหูชั้นกลางจะเล็กลง ลักษณะท่อยูสเตเชียน จะระบายอากาศจากลำคอส่วนบนเข้าสู่หูชั้นกลางได้ยากหรือไม่เกิดการระบายเลยทำให้เกิดอาการหูอื้อจนกระทั่งปวดหูมาก การได้ยินเสียงลดลง เยื่อแก้วหูถูกดันเข้าด้านใน มีการอักเสบ มีเลือดออกหรือเยื่อแก้วหูฉีกขาดได้ จึงต้องช่วยระบายอากาศด้วยวิธีการต่าง ๆ ได้แก่ การกลืนน้ำลาย เคี้ยวหมากฝรั่ง การหาว การขยับกรามไปมา หรือทำการเบ่งลม (Valsalva) เพื่อให้ปากท่อยูสเตเชียน เปิดออกเวลาเป็นหวัด ท่อยูสเตเชียน จะบวมจนบางครั้งปิดจะทำให้มีอาการปวดหูมากขึ้นเนื่องจากการระบายอากาศยังลำบาก

3. การอักเสบของโพรงไซนัสจากความกดดันบรรยากาศ (Barosinusitis หรือ Sinus Block) ที่พบบ่อย คือ อาการปวดบริเวณหน้าผาก (Frontal Sinuses) และที่แก้ม (Maxillary Sinuses) ตามปกติเกิดขึ้นไม่บ่อยยกเว้นขณะเป็นหวัดหรือแพ้ากาศ อาการปวดพบได้ทั้งความกดดันบรรยากาศสูงและความกดดันบรรยากาศต่ำ เนื่องจากการบวมของท่อของไซนัสที่มาเปิดในจมูกทั้ง 2 ข้างทำให้อากาศไม่สามารถระบายเข้าออกได้

4. การปวดฟันจากความกดดันบรรยากาศ (Barodontalgia หรือ Toothache)

อาการปวดฟันเนื่องจากการเปลี่ยนความกดดันบรรยากาศ มีสาเหตุจากฟันผุ รากฟันอักเสบ เหงือกอักเสบ ฟันที่อุดไม่ดี มีแก๊สขังอยู่ภายในจะทำให้เกิดอาการปวดฟันได้ พบทั้งความกดดันกดดันบรรยากาศสูงและความกดดันบรรยากาศต่ำ บางครั้งมีการอักเสบของไซนัสแต่มีการปวดร้าวแสดงอาการเป็นการปวดฟันแทน

5. การเป็นฟองแก๊สเนื่องจากความกดดันบรรยากาศ (Decompression Sickness) การขึ้นสู่ที่สูงสู่บรรยากาศ ความกดดันบรรยากาศจะต่ำลง ในโตรเจนในร่างกายจะเปลี่ยนสภาวะกลายเป็นฟองแก๊ส โดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดฟองแก๊ส ดังนี้

5.1 การเปลี่ยนแปลงความกดดันบรรยากาศอย่างรวดเร็ว จะทำให้เกิดอาการเร็วและรุนแรง

5.2 ระดับความกดดันบรรยากาศและระยะเวลาที่ปฏิบัติงานอยู่ ยิ่งระดับความกดดันบรรยากาศสูงหรือต่ำมากและยิ่งปฏิบัติงานอยู่นาน ยิ่งมีโอกาสเกิดมากขึ้น

5.3 การใช้กำลังทำงานมาก/ การออกกำลังกายหนัก ทำให้เกิดเร็วขึ้นหรือทำให้อาการที่เป็นอยู่กำเริบมากขึ้น

5.4 อายุมาก ไขมันมาก (อ้วน) มีโอกาสเป็นมากขึ้น อาการของโรคฟองแก๊ส (Decompression Sickness)

5.5 การปวดข้อ (Bends) เกิดจากฟองแก๊สฝังในข้อส่วนมากเป็นข้อขนาดใหญ่เช่น ศอก เข่า อาการปวดยิ่งมากขึ้นเมื่อเวลานานขึ้นหรือเมื่อมีการเคลื่อนไหวของข้อนั้น ๆ

5.6 อาการเจ็บหน้าอก (Chokes) มีอาการไอแห้ง ๆ ไม่มีเสมหะ ปวดเสบบวดร้อนที่หน้าอกเกิดจากฟองแก๊สที่ผิวของหลอดเลือด อาการเจ็บหน้าอกจากการบินที่ใช้ออกซิเจนช่วยในการหายใจจะทำให้ทางเดินหายใจแห้งมีอาการเจ็บหน้าอก ไอ ไม่มีอันตรายใด ๆ ที่เรียกว่า False Chokes แก้ไขโดยดื่มน้ำมาก ๆ

5.6.1 อาการทางระบบประสาท (Neurological Manifestations) มีอาการทางระบบประสาทส่วนกลางเพราะฟองแก๊สไปอุดที่ระบบประสาทโดยตรงหรืออุดเส้นเลือดที่ไปเลี้ยงระบบประสาท อาการที่เกิดสุดแล้วแต่ฟองแก๊สไปอุดที่ใด อาจมีแค่อาการชา มองไม่เห็น พูดไม่ออก กล้ามเนื้อหมดแรงหรือเป็นอัมพาต

5.6.2 อาการทางผิวหนัง (Skin Manifestations) เกิดฟองแก๊สใต้ผิวหนัง รู้สึกคัน ยุบยิบคล้ายมดไต่ หรือช้ำตามตัว อาจมีจ้ำเลือดตามตัว

6. การพร่องออกซิเจน (Altitude Hypoxia) คือภาวะที่ร่างกายได้รับออกซิเจนไม่เพียงพอทั้งในเลือดและเซลล์ต่าง ๆ ของร่างกายมีผลทำให้อวัยวะต่าง ๆ ทำงานบกพร่องไป ทั้งนี้เนื่องมาจากการขึ้นสูงไปในบรรยากาศที่ความกดดันบรรยากาศต่ำลง ความกดดันย่อยของออกซิเจนที่จะเข้าสู่ปอดลดน้อยลงด้วย ซึ่งถือว่าอันตรายมากเพราะอาการที่เกิดค่อยเป็นค่อยไปไม่เจ็บปวด อาการที่เกิดขึ้นไม่สามารถทราบได้โดยทันทีทันใด อาการแตกต่างกันมากแม้ในคนคนเดียวเช่นกันแต่ต่างเวลา อาจเกิดอาการหมดสติโดยไม่รู้ตัวเลยก็ได้ โดยทั่ว ๆ ไปจะมีอาการ เช่น

ร่างกายมีการหายใจ ชีพจร ความดันโลหิต แรงบีบของหัวใจเพิ่มขึ้น ความสามารถในการมองเห็น เวลากลางคืนลดลง สมอเริ่มทำงานผิดปกติ ความสามารถในการจำข้อมูลเฉพาะหน้า

(Short Term Memory) เสียไป มึนงง สับสน เป็นต้น

ลักษณะงานและอันตรายจากการทำงานภายใต้ความกดดันบรรยากาศสูง

ความกดดันบรรยากาศจะเพิ่มขึ้นเมื่ออยู่ในระดับต่ำกว่าระดับน้ำทะเลส่วนใหญ่มักพบในผู้ปฏิบัติงานได้น้ำ เช่น นักดำน้ำ, ช่อมเขื่อน, วางสายเคเบิลใต้น้ำ, ตัดไม้ใต้น้ำ, ปฏิบัติการทางทหาร, อนุรักษ์สิ่งแวดล้อมในทะเล, การสร้างรถไฟฟ้ามหานครใต้ดิน, ตรวจหาวัตถุโบราณ, อุตสาหกรรมได้น้ำ และการปฏิบัติงานภายใต้ความกดดัน เช่น ดูแลผู้ป่วยในห้องปรับบรรยากาศความกดดันสูง (Hyperbaric Chamber) เป็นต้น ซึ่งการทำงานภายใต้ความกดดันบรรยากาศสูงอาจทำให้เกิดอันตราย ดังนี้

1. ปัญหาจากก๊าซ

1.1 ภาวะพร่องออกซิเจน (Hypoxia) ทำให้หมดสติ จนถึงเสียชีวิต เกิดจากอากาศที่ใช้หายใจไม่เพียงพอ ภาวะพร่องออกซิเจน ยังเป็นสาเหตุของการหมดสติ ในการอยู่ในที่ความกดดันบรรยากาศสูงแล้วกลับหายใจ (Breath Hold Diving) จะทำให้ขาดแรงกระตุ้นหายใจ จากระดับคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต่ำ การหมดสติมักเกิดขึ้นขณะใกล้ถึงความกดดันบรรยากาศปกติ เนื่องจากแรงดันย่อยของออกซิเจนจะลดลงอย่างรวดเร็ว หรือที่เรียกว่า Shallow Water Blackout

1.2 การเป็นพิษของออกซิเจน (Oxygen Toxicity) มักพบในนักดำน้ำที่ใช้ ออกซิเจนเปอร์เซ็นต์สูง ในการดำน้ำที่ใช้ระบบการดำแบบใช้อากาศหมุนเวียนกลับ มาใช้ใหม่ (Closed Circuit หรือ Semi Closed Circuit System) การหายใจด้วยออกซิเจนภายใต้ความกดบรรยากาศสูง (ดำลึกเกินกว่า 60 ฟุตน้ำทะเล) ซึ่งมีแรงดันย่อยของออกซิเจนที่สูงมากเป็นเวลานาน จะทำให้เกิดอาการ ออกซิเจนเป็นพิษ (Oxygen Toxicity)

1.3 พิษต่อปอด มีอาการหายใจแสบขัดขณะหายใจเข้า

1.4 พิษต่อระบบประสาทส่วนกลาง มีอาการลานสายตาแคบลงคล้ายมองลอดอุโมงค์ เสียงดังก้องในหู คลื่นไส้ กล้ามเนื้อใบหน้ากระตุก กระสับกระส่าย มึนงง เกิดอาการชัก คล้ายกับลมบ้าหมูและหมดสติ ถ้าเกิดอาการขณะดำน้ำ จะทำให้นักดำน้ำเสียชีวิตจากการจมน้ำได้

1.5 ภาวะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์คั่งในร่างกาย (Hypercapnea) สาเหตุจากการทำงานหนัก การระบายอากาศไม่ดี การกลับหายใจ อุปกรณ์ขัดข้อง เช่น การไม่ทำงานของสารฟอกคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้เกิดอาการปวดศีรษะ คลื่นไส้ สับสน หมดสติและเสียชีวิตได้

การบรรเทาภาวะนี้เมื่อเกิดขึ้นได้น้ำ ควรหยุดกิจกรรมทั้งหมดที่ทำอยู่ เพื่อให้มีการระบายอากาศที่เพียงพอ (Adequate Ventilation) หรือยกเลิกการดำน้ำ ส่วนภาวะคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำเกินไป (Hypocapnea) จะเกิดตามหลังภาวะหายใจเร็วและลึกเกินไป (Hyperventilation) จะเกิดอาการชา เกร็ง ปลายมือปลายเท้า มึนงง เวียนศีรษะ ถ้าภาวะนี้ไม่ดีขึ้นเอง เมื่ออยู่ใต้น้ำ ให้ยกเลิกการดำ

1.6 ปัญหาจากก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ อาจพบปนเปื้อนในอากาศที่นักดำน้ำใช้หายใจ หากมีการปนเปื้อนมาก จะทำให้เกิดอาการ ปวดศีรษะ คลื่นไส้ สับสน จนกระทั่งหมดสติ และเสียชีวิตได้ การแก้ไข โดยการให้นักดำน้ำหยุดดำน้ำหรือไม่อยู่ในที่ความกดดันบรรยากาศสูง และให้ออกซิเจน 100 % เพื่อลดปริมาณการรวมตัวของก๊าซกับฮีโมโกลบิน (Carboxyhemoglobin)

1.7 ปัญหาจากก๊าซไนโตรเจน ก๊าซไนโตรเจน เป็นส่วนประกอบที่พบมากที่สุด ในอากาศ ที่ความลึกมากกว่า 100 ฟุตน้ำทะเล แรงดันย่อยของไนโตรเจน จะสูงมากจนทำให้เกิดเป็นพิษได้ เรียกว่า เมานโตรเจน (Nitrogen Narcosis) จะส่งผลกระทบต่อการทำงานของระบบสั่งการและการตัดสินใจ เนื่องจากอากาศที่ใช้หายใจในที่ที่ความกดดันบรรยากาศสูงเป็นอากาศอัด มวลของอากาศมีความหนาแน่นมากกว่าอากาศที่พื้นผิวโลก ภายใต้ความลึกก๊าซต่าง ๆ จะแพร่กระจายเข้าสู่เนื้อเยื่อของร่างกายได้มากขึ้น ในอากาศที่ใช้หายใจนั้นมีไนโตรเจนประมาณ 78% ไนโตรเจนเองมีคุณสมบัติเป็นก๊าซเฉื่อยที่มีฤทธิ์กดประสาทและจะเริ่มออกฤทธิ์เมื่ออยู่ที่ระดับความลึก 80-100 ฟุตน้ำทะเล การเมานโตรเจนจะขึ้นอยู่กับ

1.7.1 ระดับความกดดันบรรยากาศยังมีความกดดันบรรยากาศสูงมากอาการยิ่งมาก ทั้งนี้ไม่ได้ขึ้นอยู่กับระยะเวลา

1.7.2 ธรรมชาติของแต่ละบุคคล

1.7.3 การปรับตัว

อาการ รู้สึกตัวเบา ครีမ်ออกครีမ်ใจ หัวเราะแบบควบคุมไม่ได้ อาการคล้ายเมาเหล้า ไม่สามารถทำงานที่ใช้ความละเอียดอ่อนได้ มึนงงไม่สามารถตั้งสมาธิได้ ขาดการตัดสินใจ เห็นภาพหลอน ซึมเศร้าและหมดสติได้ในที่สุด

1.8 ปัญหาจากก๊าซฮีเลียม ก๊าซฮีเลียม เป็นก๊าซที่ใช้ผสมในอากาศที่ใช้หายใจในการดำน้ำลึก ที่เรียกว่าการดำแบบอิ่มตัว (Saturation Diving) เป็นการใช้เพื่อป้องกัน การเมาก๊าซไนโตรเจน แต่ก๊าซฮีเลียม ทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนของร่างกาย ต้องระวังภาวะอุณหภูมิร่างกายต่ำกว่าปกติ (Hypothermia) ด้วยการทำให้ก๊าซร้อน และใส่ชุดป้องกันการสูญเสียความร้อน ก๊าซฮีเลียมยังทำให้เสียงที่ใช้ในการสื่อสารผิดเพี้ยน คล้ายเสียงเป็ด เรียกว่า Donald Duck

Effect ปัญหาต่อระบบประสาทส่วนกลาง จะมีอาการสั่นของกล้ามเนื้อ สูญเสียการทรงตัว ในรายที่รุนแรงจะมีการรับรู้ที่ผิดเพี้ยน และสับสนมาก

1.8 ปัญหาจากการเปลี่ยนแปลงความกดดันบรรยากาศ (Decompression Illness หรือ Dysbaric Illness)

โรคจากการลดความกดอากาศ (Decompression Sickness, Caisson Disease [DCS], Bends) หรือที่เรียกว่า น้ำหนึบ น้ำบิบ น้ำหีบ น็อคน้ำ เกิดจากการมีฟองก๊าซเกิดขึ้นในร่างกายซึ่งเกิดจากก๊าซเฉื่อย เช่น ไนโตรเจน การเกิดฟองก๊าซในร่างกายนั้นเกิดจากขณะที่ปฏิบัติงานอยู่ภายใต้ความกดดันบรรยากาศสูง ก๊าซต่าง ๆ จะละลายจากการหายใจเข้าสู่กระแสเลือดแล้วไปสะสมตามอวัยวะต่าง ๆ ฉะนั้นปริมาณก๊าซที่ละลายนี้จะขึ้นกับความลึกของการดำน้ำ และเวลาในการปฏิบัติงาน ยิ่งปฏิบัติงานที่ความลึกมาก ๆ และใช้เวลาในการปฏิบัติงานนาน ๆ ก็จะมีจำนวนก๊าซละลายอยู่ตามเนื้อเยื่อต่าง ๆ มากขึ้น

ในขณะที่ลดความกดดันบรรยากาศ คือ การขึ้นสู่ผิวน้ำ ก๊าซที่ละลายอยู่ตามเนื้อเยื่อก็จะกลับสู่กระแสเลือดจนออกจากร่างกายทางระบบทางเดินหายใจ ฉะนั้นหากมีปริมาณของก๊าซสะสมมาก เวลาที่ใช้ในการกำจัดก๊าซเหล่านี้ก็ย่อมจะนานตามไปด้วย เมื่อไม่สามารถกำจัดก๊าซที่สะสมนี้ได้หมดก๊าซที่สะสมอยู่ตามร่างกายก็จะขยายตัวเป็นฟองอากาศอยู่ตามอวัยวะต่าง ๆ เกิดเป็นอาการของ DCS ต่อไปผลของฟองอากาศที่เกิดขึ้น คือ เบียด กดทับเนื้อเยื่อนั้น ๆ เกิดอาการขาดเลือดและอุดตันในส่วนต่าง ๆ ของร่างกายจนเกิดพยาธิสภาพและอาการ

แบ่งตามความรุนแรงของโรคได้ 2 ชนิดคือ

1. โรคเหตุลดความกดอากาศ ประเภทที่ 1 (Decompression Sickness Type 1 หรือ Mild DCS)

1.1 Musculoskeletal Symptoms มีอาการปวดตามข้อและกล้ามเนื้อ พบบ่อยด้วยอาการปวดในข้อ เช่น หัวไหล่ ข้อศอก ข้อมือ ข้อเท้า ตะโพก ข้อเข่า ส่วนใหญ่จะมาด้วยเรื่องมีอาการปวดที่ค่อย ๆ เพิ่มขึ้น ปวดลึก ๆ บอกตำแหน่งได้ยากบางครั้ง ปวดบริเวณกล้ามเนื้อ อาการจะดีขึ้นถ้าได้นวดหรือกดลงบริเวณนั้น ข้อสังเกตที่ใช้ในการแยกจากอาการของข้ออักเสบคือ เมื่อมีการเคลื่อนไหว จะไม่เจ็บข้อมากขึ้นซึ่งต่างจากข้ออักเสบทั่วไป

1.2 Cutaneous Symptoms มีผื่น คันที่ผิวหนัง ปกติอาการผื่น คันมักจะหายเองโดยไม่ต้องรักษาด้วย Hyperbaric Chamber ยกเว้นการเกิดผื่นชนิด Cutis Marmorata เป็นอาการแสดงของความผิดปกติของระบบประสาท ลักษณะเป็นจ้ำแดง ๆ หรือเป็นปื้นม่วง ๆ อาจมีอาการคันแรกเริ่ม มักพบเป็นอาการเริ่มต้นของ Severe DCS จำเป็นต้องรักษาด้วย Hyperbaric Chamber

1.3 Lymphatic Symptoms อาการบวมที่ต่อมน้ำเหลือง เป็นการบวมเฉพาะที่ เกิดจากฟองอากาศอุดกั้นทางเดินของต่อมน้ำเหลือง นักดำจะมีอาการปวดตามตำแหน่งที่อุดตัน การรักษาด้วย Hyperbaric chamber เพื่อลดความเจ็บปวด จะได้ผลเป็นอย่างดี

2. โรคเหตุลดความกดอากาศ ประเภทที่ 2 (Decompression Sickness Type 2 หรือ Severe DCS) เป็นประเภทที่มีอาการรุนแรง เนื่องจากทำให้เกิดความพิการหรือเสียชีวิตได้ มักเกิดกับระบบประสาท เนื่องจากในเนื้อเยื่อของระบบประสาทมีไขมันเป็นส่วนประกอบมาก และฟองก๊าซไนโตรเจนละลายในไขมันได้ดี

2.1 Neurological Symptoms อาการผิดปกติของระบบประสาทสมองและไขสันหลัง ได้แก่ อาการชา กล้ามเนื้ออ่อนแรง สติ-บุคลิกภาพเปลี่ยน หงุดหงิด การมองเห็นผิดปกติ มือเท้าสั่น ความทรงจำเสื่อม ปัสสาวะไม่ออก เป็นอัมพาต

2.2 Inner Ear Symptoms อาการผิดปกติของหูชั้นใน เกิดจากฟองก๊าซไปก่อตัวขึ้นที่หูชั้นใน ได้แก่ วิงเวียนศีรษะ สูญเสียการได้ยิน เสียงก้องในหู หูอื้อ ทรงตัวไม่ได้

2.3 Cardiovascular Symptoms เกิดจากมีฟองก๊าซจำนวนมากขยายตัวเกิดขึ้นพร้อมกันในระบบไหลเวียนเลือด ทำให้เกิดการบาดเจ็บต่อปอดอย่างรุนแรง อาการเริ่มจาก เจ็บหน้าอก หายใจเร็ว หอบเหนื่อย ใจเป็นเลือด อาการจะเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งระบบไหลเวียนเลือดล้มเหลว หมดสติและเสียชีวิตในที่สุด

การป้องกันและการรักษา ควรเริ่มตั้งแต่การป้องกัน ก่อนการปฏิบัติงานที่ที่มีความกดดันบรรยากาศสูงร่างกายจะต้องสมบูรณ์แข็งแรง ปฏิบัติตามกฎหมายและตารางการดำน้ำอย่างเคร่งครัด เมื่อพบผู้ป่วย DCS ควรให้การปฐมพยาบาลเบื้องต้นอย่างถูกวิธี ให้หายใจด้วยออกซิเจน 100 % และรีบนำส่ง รพ.ที่มีห้องปรับบรรยากาศความกดดันสูงโดยด่วนที่สุด

กลุ่มอาการปอดพองเกิน (Pulmonary Over Inflation Syndrome: POIS)

จัดเป็นการบาดเจ็บจากการเปลี่ยนแปลงความกดดันบรรยากาศ (Barotrauma) เกิดจากการหายใจด้วยอากาศที่มีความกดดันบรรยากาศสูงแล้วขึ้นสู่ความกดดันบรรยากาศปกติ โดยระบายอากาศออกอย่างไม่เพียงพอหรือไม่ทัน (ดำขึ้นเร็วกว่าฟองอากาศ) มักพบในนักดำน้ำที่ใช้ถังอากาศดำน้ำ (Scuba) ที่เกิดอุบัติเหตุได้น้ำแล้วตกใจ ดำขึ้นสูผิวน้ำโดยการกลั้นหายใจหรือมีความผิดปกติของเนื้อเยื่อปอด ทำให้ฟองก๊าซเขาเข้าไปอยู่ในเนื้อเยื่อของปอด และขยายตัวมากจนทำให้ถุงลมปอดฉีกขาด ฟองก๊าซยังสามารถหลุดเข้าสู่เนื้อเยื่อและระบบไหลเวียนเลือด

1. ลมรั่วในโพรงเยื่อหุ้มปอด (Pneumothorax) เกิดจาก ฟองก๊าซขยายตัวอยู่ในถุงลมปอดและระบายออกทางลมหายใจไม่ทัน ทำให้ถุงลมในปอดฉีกขาด ก๊าซเข้าไปอยู่ในช่อง

เยื่อหุ้มปอด (Pleural Cavity) เกิดอาการบาดเจ็บของเนื้อเยื่อทรวงอก จะมีอาการ เจ็บแปลบที่หน้าอกทันทีทันใด บางครั้งร้าวมาที่ไหล่หลัง ไอค่อยใจเร็ว ตัดขาด หอบ เหนื่อย

2. **ลมรั่วในแกนปอด (Mediastinal Emphysema)** เกิดจากก๊าซขยายตัวเข้าไปในเนื้อเยื่อแกนปอดหลัง ต่อกระดูกหน้าอก จะมีอาการ เจ็บแน่นหน้าอกด้านหน้า เจ็บเวลาหายใจเข้า ไอ หรือกลืน อาจปวดร้าวไปที่หลังไหล่ คาง

3. **ลมรั่วในเนื้อเยื่อใต้ผิวหนัง (Subcutaneous Emphysema)** เกิดจากก๊าซเข้าไปในเนื้อเยื่อใต้ผิวหนังบริเวณหน้าอกส่วนบนและคอ ทำให้มีอาการ คอบวม กลืนลำบาก เสียเสียง เปลี่ยน มีเสียงกรอบแกรบเวลาคลำที่คอ หรือใต้ผิวหนัง

4. **ภาวะฟองก๊าซอุดตันในหลอดเลือดแดง (Arterial Gas Embolism: AGE) ซึ่งรุนแรงที่สุด** เกิดจากก๊าซถูกผลักดันหรือเข้าไปในหลอดเลือดดำของปอด ซึ่งจะกลับคืนเข้าสู่หัวใจ ฟองก๊าซถูกสูบฉีดไปส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย ถ้าไปอุดตันที่หลอดเลือดแดงสมอง เกิดภาวะ Cerebral Arterial Gas Embolism: CAGE ทำให้มีความผิดปกติทางระบบสมอง เช่นเป็นอัมพฤกษ์อัมพาต ผู้ป่วยหลอดเลือดสมองเฉียบพลันทั่วไป แต่ส่วนมากมักหมดสติ หากฟองก๊าซไปอุดตันที่หลอดเลือดโคโรนารี อาจทำให้เกิดอาการแสดงโรคหัวใจเฉียบพลันทำให้เกิดอาการขึ้นภายใน 10 นาที ภายหลังจากขึ้นถึงผิวหนัง โดยจะมีอาการตั้งแต่เล็กน้อยจนถึงรุนแรงมาก เช่น ไอเสมหะเป็นฟองปนเลือด เติมน้ำลาย สับสน ตาพร่ามัว อัมพาต เป็นลม ชัก หมดสติ หายใจ และเสียชีวิต ซึ่งบางรายอาจพบว่าหมดสติก่อนถึงผิวหนัง

5. **การบาดเจ็บจากการเปลี่ยนแปลงความกดดันบรรยากาศ (Barotrauma)** เป็นการบาดเจ็บจากการทำงานในที่ที่มีความกดดันบรรยากาศสูงที่พบบ่อยที่สุด ความกดดันบรรยากาศรอบตัวผู้ปฏิบัติงาน ทุก ๆ ความลึก 33 ฟุตน้ำทะเล หรือ 34 ฟุตน้ำจืด ความกดดันบรรยากาศจะเพิ่มขึ้น 1 บรรยากาศ (atm) อาจทำให้เกิดอันตรายต่ออวัยวะภายในของร่างกายได้ เช่น ช่องหูชั้นกลาง โพรงอากาศรอบ ๆ จมูก (Sinus) มีผลการศึกษาของ Plafki et al.(2000) ที่ศึกษาภาวะแทรกซ้อนและผลข้างเคียงของการรักษาด้วยออกซิเจนความกดบรรยากาศสูงภายใน Multiplace chamber พบว่ามากกว่า 17% มีอาการปวดหูหรือรู้สึกไม่สุขสบาย มีแผล Barotrauma ที่หู 3.8% เยื่อแก้วหูฉีกขาด 3 ราย การเกิดการบาดเจ็บในขณะที่ความกดดันบรรยากาศสูงขึ้น ช่องอากาศที่โดนบีบอัด จะมีลักษณะคล้ายสุญญากาศ ดูดเนื้อเยื่อจากผนังของช่องนั้น ๆ เพื่อปรับแรงดันให้เท่ากับแรงดันภายนอก เส้นเลือดจะคั่งและขยาย จนกระทั่งแตกและเลือดออก เรียกว่า Squeeze หรือ Negative Pressure Barotrauma ในทางกลับกันการขยายของช่องอากาศ สามารถทำให้เกิดการบาดเจ็บได้เช่นกัน เรียกว่า Reverse Squeeze หรือ Over pressurization

5.1 การบาดเจ็บต่อหูชั้นกลาง (Middle Ear Squeeze) เป็นอาการที่พบได้มากที่สุด หูเป็นอวัยวะที่มีโพรงอากาศ ความดันของอากาศในช่องหูชั้นกลางจะมีการเปลี่ยนแปลงได้โดยอากาศผ่านเข้าออกทางท่อยูสเตเชียน เมื่อความกดดันบรรยากาศภายนอกร่างกายสูงจะดันให้เยื่อแก้วหูโป่งเข้าด้านในทำให้เกิดอาการตึงและปวดหู ถ้าฝืนต่อไปอาจทำให้เยื่อแก้วหูทะลุได้ ดังนั้นจะต้องแก้ไขโดยการเพิ่มความกดดันในช่องหูชั้นกลางให้เท่ากับความกดดันบรรยากาศภายนอกตัว โดยการทำให้ท่อยูสเตเชียนเปิด ด้วยวิธีการปิดปาก ปิดจมูก แล้วหายใจออกแรง ๆ (วิธีการปรับหูนี้ เรียกว่า Valsalva Maneuver) อากาศจะเข้าไปในช่องหูชั้นกลางทำให้ไม่ปวด แต่ถ้าไม่สามารถปรับหูได้ ความดันอากาศที่เปลี่ยนแปลงจะมีผลต่อเยื่อแก้วหูทำให้มีเลือดออก จนถึงมีเยื่อแก้วหูฉีกขาดได้ ทำให้เกิดอาการต่าง ๆ เช่น เวียนศีรษะ , คลื่นไส้ การตรวจร่างกายพบว่าเยื่อแก้วหูแดงและยุบตัวเข้าไปทางด้านหูชั้นกลาง ในบางรายมีเลือดขังในช่องหูชั้นกลาง เยื่อแก้วหูจะแข็ง การยืดหยุ่นลดลง (Tympanic Membrane Congestion), มีการเคลื่อนไหวของเยื่อแก้วหูลดลงเมื่อตรวจด้วยกล้องส่องหูชนิดเป่าลม (Pneumatic Otoscope) และมักมีการสูญเสียการได้ยินแบบการนำเสียงเสื่อม (Conduction Hearing Loss)

5.2 การบาดเจ็บต่อหูชั้นใน (Inner Ear Barotrauma) พบได้ไม่บ่อย มักเกิดจากการปรับหูแรงเกินไป แรงดันจะส่งผ่าน ช่องว่างของกระดูกงูรูปก้นหอย (Cochlear Duct) และทำให้เกิดการฉีกขาดของหน้าต่างรูปกลม (Round Window) และหน้าต่างรูปไข่ (Oval Window) ในหูชั้นใน ทำให้มีอาการ เวียนศีรษะอย่างรุนแรง เสียการทรงตัว สูญเสียการได้ยิน หูอื้อ

5.3 การบาดเจ็บต่อโพรงอากาศไซนัส (Sinus) โพรงอากาศรอบ ๆ โพรงจมูกอาจเกิดอันตรายได้ในกรณีที่อากาศถ่ายเทเข้าหรือออกไม่ได้ หรือไม่สะดวกในขณะที่ความกดดันบรรยากาศสูง ถ้าช่องทางออก ท่อระบาย ของโพรงอากาศอุดตัน ที่พบบ่อยคือ โพรงอากาศที่อยู่ที่กระดูกหน้าผาก (Frontal Sinus) ความดันของบรรยากาศภายนอกจะสูงกว่าภายในโพรงอากาศทำให้เกิดแรงบีบกดโพรงอากาศนั้น ๆ ผู้ปฏิบัติงานจะรู้สึกปวดมาก อาจมีเลือดออกทางโพรงจมูก

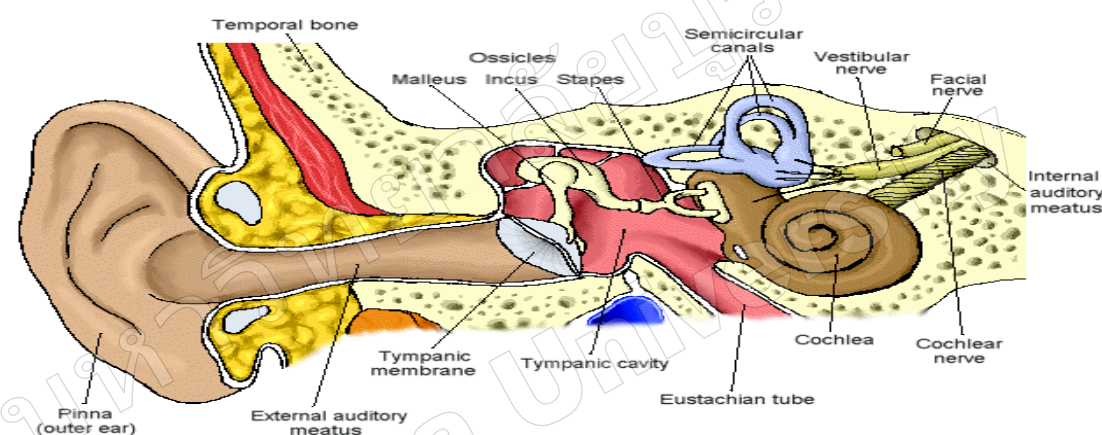
5.4 การบาดเจ็บต่อฟัน จากการมีช่อง/ หลุมอากาศเล็ก ๆ ในฟัน ซึ่งหลุมอากาศนี้อาจเกิดจากฟันผุ หรือจากการอุดฟันที่ไม่แน่น การติดเชื้อของเหงือก เพ็ญถอนฟัน

5.5 การบาดเจ็บต่อปอด ขณะลอยตัวขึ้นทำให้เกิด ฟองก๊าซอุดตันในหลอดเลือดแดง (Arterial Gas Embolism) เกิดจากภาวะปอดฉีกขาดขณะลอยตัวขึ้นสู่ความกดดันบรรยากาศปกติ ทำให้อากาศภายในปอดเข้าไปอุดตันในระบบไหลเวียนเลือด ระบบประสาท เกิดอาการหมดสติ อาการทางสมอง อัมพาต และอาจเสียชีวิตได้

หูกับความกดดันบรรยากาศสูง

1. กายวิภาคของหู (Anatomy of Ear)

หู (Ear) คือ อวัยวะรับสัมผัสที่ทำหน้าที่ใน 2 ระบบ คือ ระบบการได้ยินเสียง (Auditory System) และระบบการทรงตัว (Vestibular System) หู แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ หูชั้นนอก (Outer Ear) หูชั้นกลาง (Middle Ear) และหูชั้นใน (Inner Ear) โดยหูชั้นนอกและหูชั้นกลางมีหน้าที่ในการรับและส่งผ่านเสียงไปยังหูชั้นในซึ่งเป็นที่อยู่ของประสาทรับรู้เสียงนอกจากนี้ประสาทรับรู้การทรงตัวก็อยู่ในหูชั้นในด้วยเช่นกันโดยทำหน้าที่เป็นอิสระ ไม่ขึ้นกับหูชั้นนอกและหูชั้นกลางกายวิภาคของหูแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กายวิภาคของหู (ชัยพันธ์ วีระเกียรติกำจร, 2547)

1.1 หูชั้นนอก (Outer Ear) หูชั้นนอก ประกอบด้วย ใบหู (Auricle หรือ Pinna) และ รูหู (External Auditory Meatus)

1.1.1 ใบหู (Auricle หรือ Pinna) ประกอบด้วยแผ่นกระดูกอ่อนซึ่งถูกปกคลุมไปด้วยชั้นผิวหนังบาง ๆ ด้านหลังหูมีเส้นขน ต่อมไขมัน และต่อมเหงื่ออยู่ ใบหูมีหน้าที่แยกและรวมคลื่นเสียง

1.1.2 รูหู (External Auditory Meatus) เป็นช่องว่างที่เป็นทางเชื่อมระหว่างใบหูกับเยื่อแก้วหูซึ่งอยู่ในหูชั้นกลาง มีหน้าที่ในการขยายสัญญาณเสียงสร้างการสั่นสะเทือนทางกลบริเวณหนึ่งในสามก่อนไปทางปลายด้านนอก ประกอบด้วยกระดูกอ่อน แต่สองในสามส่วนก่อนไปทางด้านในจะเกิดจากกระดูกขมับ (Temporal Bone) บุไปด้วยเซลล์เยื่อบุผิว (Stratified Squamous Epithelium) ขนต่อมไขมัน ต่อมผลิตขี้หู (Ceruminous Glands) ซึ่งดัดแปลงตัวเองมา

จากต่อมเหงื่อ เซลล์เยื่อหูจะเปลี่ยนจากแบบมีหนึ่งกำพำปกคลุมไปเป็นแบบไม่มีหนึ่งกำพำ
เมื่อเข้าใกล้บริเวณเยื่อแก้วหู สารคัดหลั่งจากต่อมไขมันและต่อมขี้หูจะร่วมกันผลิตขี้หูเพื่อปกป้อง
ผิวหนังไม่ให้แห้ง และช่วยสกัดกั้นสิ่งแปลกปลอมจากภายนอกที่เข้ามาในหู

1.2 หูชั้นกลาง (Middle Ear) ประกอบด้วยช่องว่าง ซึ่งเป็นที่ว่างที่มีอากาศ วางตัว
อยู่ในกระดูกขมับ (Temporal Bone) มีเยื่อหูแบบเรียงตัวเพียงชั้นเดียว (Simple Squamous)
ไปจนถึงเรียงตัวคล้ายลูกบาศก์ (Low Cuboidal) มีเซลล์ขนและเซลล์รูปลูกบาศก์อยู่ใกล้ ๆ กับ
บริเวณที่ติดต่อกับรูหู (Auditory Tube) ผนังด้านขอบจะติดกับเยื่อแก้วหู (Tympanic Membrane)
ส่วนผนังตรงกลางจะติดกับช่องเวสทิบิวลารีในหูชั้นใน (Vestibular) โดยมี Oval Window เป็น
ตัวเชื่อม และติดกับ Cochlea โดยมี Round Window เป็นตัวเชื่อม

1.2.1 กระดูก 3 ชิ้น (The Ossicles) กระดูก 3 ชิ้นในหูชั้นกลาง ประกอบด้วย
กระดูกรูปค้อน (Malleus) กระดูกรูปทั่ง (Incus) และกระดูกรูปโกลน (Stapes) กระดูกเหล่านี้จะ
ทำให้เกิดระบบคานเชื่อมต่อกันจากหูชั้นนอกไปยังหูชั้นใน โดยประกอบด้วยกระดูกแข็ง ๆ เชื่อมต่อกัน
ด้วยข้อต่อที่มีของเหลวหล่อลื่น ตัวกระดูกจะถูกปกคลุมไปด้วยเนื้อเยื่อหูซึ่งต่อเนื่องกับช่องเยื่อ
แก้วหู (Tympanic Cavity) กระดูกรูปค้อนจะอยู่เชื่อมติดกับเยื่อแก้วหู กระดูกรูปโกลนจะเชื่อมติด
อยู่กับ Oval Window ของหูชั้นในโดยเส้นเอ็น ส่วนกระดูกรูปทั่งจะเป็นตัวเชื่อมระหว่างกระดูกรูป
ค้อนกับรูปโกลน กระดูกสามชิ้นนี้จะเกี่ยวข้องกับกล้ามเนื้อเล็ก ๆ สองชิ้น คือ The Tensor
Tympani ซึ่งเชื่อมติดกับกระดูกรูปค้อน และ The Stapedius เชื่อมกับกระดูกรูปโกลน กล้ามเนื้อ
เหล่านี้จะช่วยปรับความตึงของเยื่อแก้วหูเพื่อส่งผ่านการสั่นสะเทือนไปยังหูชั้นใน ในกรณีที่มีเสียง
ดังมาก ๆ กล้ามเนื้อเหล่านี้จะช่วยปกป้องตัวรับกระแสประสาท (Receptors) ที่ละเอียดอ่อนโดย
กลไก Ossicular Reflex กล่าวคือ ในกรณีที่มีเสียงดังผิดปกติกลไกนี้จะลดหน้าที่การถ่ายทอด
สัญญาณเสียงในกระดูกทั้งสามชิ้น แต่กลไกนี้จะไม่มีประสิทธิภาพในกรณีที่มีเสียงที่มีความถี่ 1,000-
2,000 เฮิรตซ์ เช่น เสียงระเบิดดัง ๆ เสียงพลุ หรือเสียงปืน เป็นต้น นอกจากนั้น กลไกนี้ยังทำหน้าที่
เตือนจากการรับรู้ความดังของเสียงของตัวเอง ซึ่งจำเป็นสำหรับผู้ที่เป็นนักร้อง

1.2.2 เยื่อแก้วหู (Tympanic Membrane) เป็นเยื่อบางแข็งกึ่งโปร่งใส วางอยู่
ระหว่างหูชั้นนอกกับหูชั้นกลาง แบ่งเป็น 2 ส่วน

1.2.2.1 Pars Tensa มีพื้นที่ส่วนใหญ่ในหน้าส่วน ค่อนไปทางด้านล่างของเยื่อแก้วหู
ประกอบด้วยแกนของเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (Connective Tissue)

1.2.2.2 Pars Flaccida มีพื้นที่หนึ่งในหน้าส่วน ค่อนไปทางด้านบนของเยื่อ
แก้วหู มีความยืดหยุ่นมากกว่าส่วน Pars Tensa เนื่องจากไม่มีเนื้อเยื่อเส้นใย (Fibrous Layer)

1.2.3 ท่อยูสเตเชียน (Eustachian tube) จะเชื่อมต่อระหว่างช่องเยื่อแก้วหู (Tympanic Cavity) กับบริเวณโพรงจมูก (Nasopharynx) และคอหอย ท่อนี้มีความยาวประมาณ 3.5 เซนติเมตร โดยหนึ่งในสามของผนังจะอยู่ใกล้กับ Tympanic Cavity ประกอบขึ้นจากกระดูก และสองในสามเป็นกระดูกอ่อน ยกเว้นส่วนที่เปิดเข้าสู่คอหอยจะมีโครงสร้างเป็น กระดูกอ่อน (Hyaline Cartilage) ท่อนี้ไปด้วยเยื่อเมือกที่มีขน (Ciliated Epithelium) ด้านคอหอยจะพบต่อมผลิตเมือกและเซลล์หลั่งเมือก (Goblet Cell) ท่อนี้มีหน้าที่ปรับแรงดันอากาศระหว่าง Tympanic Cavity กับสิ่งแวดล้อมภายนอก โดยปกติผนังทั้งสองด้านจะอยู่ชิดกัน แต่ระหว่างการกลืนและการเคี้ยว ผนังจะแยกจากกันปล่อยให้อากาศเข้าไปใน Tympanic Cavity

1.2.4 Mastoid Air Cells คือ ระบบของโพรงอากาศในกระดูกขมับ (Temporal Bone) ต่อกับหูชั้นกลาง แต่ละเซลล์จะถูกบุด้วยเยื่อเมือก (Mucous Membrane) ของเซลล์เยื่อ ซึ่งต่อเนื่องกับเยื่อเมือกของ Tympanic Cavity

1.3 หูชั้นใน (Inner Ear) ประกอบด้วยโครงสร้างที่เป็นกระดูก (Bony Labyrinth) และโครงสร้างที่เป็นท่อและเยื่อ (Membranous Labyrinth)

1.3.1 โครงสร้างที่เป็นกระดูก (Bony Labyrinth) ประกอบด้วย

1.3.1.1 Vestibule คือ ช่องว่างตรงกลางของโครงสร้าง ประกอบด้วยช่องรูปวงรีสำหรับเป็นที่อยู่ของเซลล์รับความรู้สึกยูลติริเคิล (Utricle) และช่องรูปวงกลมสำหรับเป็นที่อยู่ของแซคคูล (Saccule) และผนังด้านข้างเป็นที่อยู่ของ Oval Window

1.3.1.2 Semicircular Canals คือ ท่อสามอันซึ่งต่อกับด้านหลังของ Vestibule ตรงปลายท่อจะมีการโป่งออกเรียกว่า Ampulla

1.3.1.3 Cochlea คือ อวัยวะที่มีรูปร่างเหมือนเปลือกหอยทาก ล้อมรอบแท่งกระดูกชื่อ Modiolus ซึ่งเป็นที่อยู่ของปมประสาทแบบเกลียว และเส้นประสาทของ Cochlear ช่องว่างภายในนั้นจะเปิดสู่ Round Window

1.3.2 โครงสร้างที่เป็นเยื่อ (Membranous Labyrinth) ภายในเยื่อเมือกของท่อภายในนั้น มีการสื่อสารระหว่างกัน และมีของเหลวอยู่ภายในที่เรียกว่า Endolymph มีลักษณะคล้ายของเหลวภายในเซลล์ซึ่งประกอบด้วยโปแตสเซียมปริมาณสูง และโซเดียมปริมาณต่ำ ส่วนด้านนอก Membranous Labyrinth จะมีของเหลวที่เรียกว่า Perilymph มีลักษณะเหมือนของเหลวนอกเซลล์ ซึ่งประกอบด้วยโปแตสเซียมปริมาณต่ำ และโซเดียมปริมาณสูง

2. การบาดเจ็บของหูจากความกดดันบรรยากาศสูง

การบาดเจ็บที่พบบ่อยที่สุดคือ การบาดเจ็บจากความดัน (Barotrauma) ที่เกิดกับหูหรือ

โพรงอากาศ โดยเกิดขึ้นเมื่อความดันภายในหูชั้นกลางไม่เท่ากับความดันของสิ่งแวดล้อมที่อยู่รอบตัวของพยาบาลที่ปฏิบัติงานภายในห้องปรับบรรยากาศฯ ในขณะที่กำลังดำลงไป เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของความดันจะมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก๊าซ (ตามกฎของบอยล์) จึงทำให้มีความเสี่ยงที่จะได้รับบาดเจ็บได้ การบาดเจ็บนี้จะมีผลต่อหูชั้นกลาง และโพรงมาสตอยด์อย่างมาก ถ้าในเวลานั้นท่อยูสเตเชียนมีการอุดตันอยู่ด้วย ปัญหา มักจะเกิดขณะที่เปลี่ยนจากที่ซึ่งมีความกดดันบรรยากาศต่ำไปยังที่ยังที่มีความกดดันบรรยากาศสูง ความดันในช่องหูชั้นกลางจะน้อยกว่าบรรยากาศรอบตัว ทำให้แก้วหูถูกดึงรั้งเข้าไปด้านใน และเกิดการอักเสบของเยื่อหูชั้นกลาง ถ้าภาวะนี้ไม่ได้รับการแก้ไข จะทำให้มีน้ำเหลืองขังในหูชั้นกลาง หรือมีเลือดออกที่แก้วหูและเยื่อหูและเยื่อหูชั้นกลาง ผลการศึกษาของ Ambiru et al. (2008) ที่ศึกษาการวิเคราะห์ปัจจัยเสี่ยงที่สัมพันธ์กับภาวะแทรกซ้อนของการรักษาด้วยออกซิเจนความกดดันบรรยากาศสูง พบว่าผู้ที่เข้าห้องปรับบรรยากาศฯ มีปัญหาในการปรับความดันในหูชั้นกลาง ซึ่งแสดงออกเป็นความเจ็บปวดหรือความรู้สึกไม่สุขสบาย 156 คน (9.7%) และช่วงเวลาที่มียาอาการแสดงจะพบในวันแรกของการรักษา

ลักษณะทางคลินิก จะมีอาการเกิดขึ้นทันทีขณะที่อยู่ในสิ่งแวดล้อมดังกล่าวข้างต้น ทำให้เกิดอาการปวดหู ไม่สบายในหู มีเสียงรบกวนในหู ตรวจพบแก้วหูแดงและยุบตัวเข้าไปทางด้านหูชั้นกลาง ในบางรายมีเลือดขังในช่องหูชั้นกลางด้วย เรียกว่า Hemotympanum และมีการสูญเสียการได้ยินชนิดการนำเสียงบกพร่อง

2.1 การบาดเจ็บของหูจากความกดดันบรรยากาศสูงแบ่งตามระดับความลึก (Newton HB, 2001)

การปรับแรงดันไม่ดีพอหรือไม่ปรับแรงดัน พยาบาลที่ปฏิบัติงานภายในห้องปรับบรรยากาศฯ จะรู้สึกเจ็บและอาจบาดเจ็บในหูชั้นกลางได้โดยง่าย เวลาดำน้ำหรือความกดดันบรรยากาศเพิ่มขึ้น แก้วหูจะถูกดันเข้าไปด้านในและจะรู้สึกว่ามีแรงกดดันในหู หากดำลึกลงไปหรือความกดดันบรรยากาศเพิ่มขึ้น ประมาณ 1.12 บรรยากาศ แก้วหูก็就会被ดันเข้าไปมากขึ้น พร้อม ๆ กับ “Round Windows” และ “Oval Windows” ระหว่างหูชั้นกลางกับหูชั้นใน เมื่อแตกต่างกัน ก็จะทำให้เริ่มเข้ามาบรรจบกันที่ท่อยูสเตเชียน ทำให้การปรับแรงดันในหูยากยิ่งขึ้นไปอีก ปลายประสาทในแก้วหูก็จะยืด และจะรู้สึกได้ว่ามีความเจ็บปวดเกิดมากขึ้น

ที่ 1.18 บรรยากาศ แก้วหูก็จะยืดมากกว่าเดิม เนื้อเยื่อเริ่มจะฉีกขาดทำให้เกิดการอักเสบที่ต้องรักษาเป็นเวลานานกว่า สัปดาห์ เส้นเลือดเล็ก ๆ ในแก้วหูจะยืดหรือฉีกขาด ทำให้เกิดการบวมซ้ำซึ่งอาจกินเวลานานถึงสามสัปดาห์ที่ท่อยูสเตเชียน จะถูกปิดตายโดยแรงกดดัน ทำให้ไม่

สามารถปรับแรงดันได้เลย จะรู้สึกเจ็บมากยิ่งขึ้น

ที่ 1.24 บรรยากาศ เลือดและเมือกต่าง ๆ ที่ถูกดูดจากเนื้อเยื่อรอบ ๆ จะเริ่มบรรจุเต็มในหูชั้นกลาง เราเรียกอาการนี้ว่า Middle Ear Barotrauma ของเหลวจะปรับแรงดันในหูและที่แก้วหู จะรู้สึกเจ็บน้อยลงไปเรื่อย ๆ และแทนที่ด้วยความรู้สึก “เต็ม” ในหูซึ่งจะอยู่อย่างนั้นเป็นเวลานานกว่าสัปดาห์ จนกระทั่งของเหลวถูกซึมซับหายไป

ที่ 1.30 บรรยากาศ แก้วหูก็จะฉีกขาด น้ำจะเข้าไปท่วมเต็มหูชั้นกลาง ความรู้สึกตอบสนองต่อความดันโดยฉับพลันที่เกิดขึ้นกับกลไกการทรงตัว อาจทำให้เกิดอาการรุนแรงหลงทิศ (Vertigo) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อแก้วหูแตกเพียงข้างเดียว จะรู้สึกเหมือนโลกหมุน และอาการจะหายไปเมื่อน้ำถูกทำให้อุ่นจากอุณหภูมิภายในร่างกาย พยายามปรับแรงดันโดยการเป่าแรง ๆ ขณะปิดจมูกไว้ อาจจะทำให้ “Round Windows” ฉีกขาดตามไปด้วย และอาจทำให้สูญเสียการได้ยินชั่วคราวหรือถาวร

ผลการศึกษาของ Skogstad et al. (2005) ที่ศึกษาระดับเริ่มการได้ยิน (Hearing Thresholds) ในนักดำน้ำมืออาชีพ เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของ Hearing thresholds โดยเปรียบเทียบกับผลตรวจสมรรถภาพการได้ยินพื้นฐาน (Baseline Audiogram) ดำน้ำทะเลเป็นลึกไม่เกิน 2 atm (10 เมตร) การได้ยินลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ที่ 4,000 เฮิรตซ์ และ 8,000 เฮิรตซ์ Hearing Thresholds เพิ่มขึ้นพบที่ 500, 2,000, 3,000 และ 6,000 เฮิรตซ์ สำหรับหูข้างขวาและ 3,000, 4,000 และ 6,000 เฮิรตซ์ สำหรับหูซ้าย

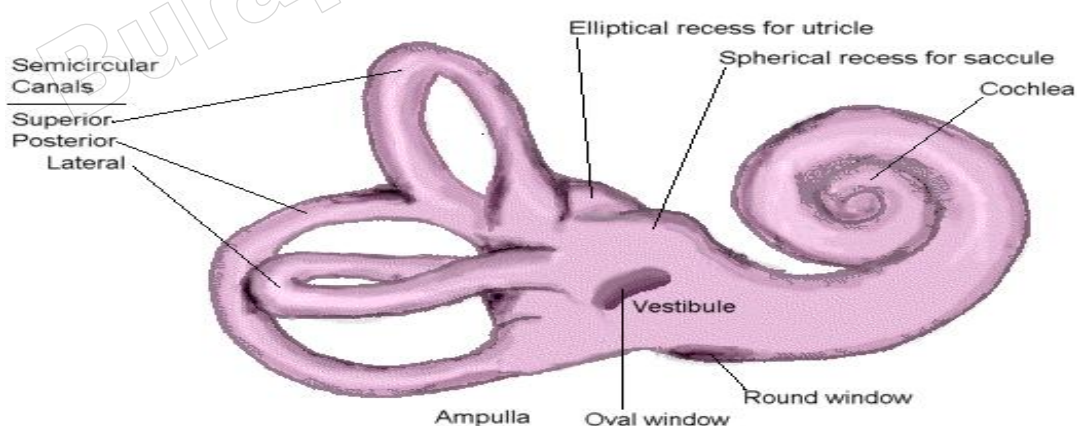
2.2 การบาดเจ็บของหูจากความกดดันบรรยากาศสูงแบ่งตามกายวิภาคของหู

2.2.1 ใบหูและหูชั้นนอก ใบหู (Auricle, Pinna) เป็นส่วนแรกที่ทำให้มองเห็นหู ซึ่งปกติมักจะเข้าใจว่าเป็นหูถึงแม้ว่ามันจะเป็นเพียงแค่ส่วนนอกของหูเท่านั้น ใบหูมีรูปร่างคล้ายกรวย ส่วนใหญ่จะเป็นกระดูกอ่อน ปกคลุมด้วยผิวหนังบาง ๆ เป็นช่องทางให้เสียงและน้ำผ่านเข้าไปได้ตรงเข้าไปทางด้านหน้าของ Tragus (แผ่นกระดูกอ่อนที่ยื่นอยู่หน้าหูเป็นติ่งเล็ก ๆ) จะมีช่องโค้งเข้าไปด้านใน มีความกว้างประมาณ 24 มิลลิเมตร บริเวณช่องรูหูด้านนอกนี้ประกอบไปด้วยต่อมที่ผลิตขี้หู ส่วนด้านในของช่องรูหูจะปกคลุมไปด้วยเนื้อเยื่อและขนบาง ๆ เมื่อมีความกดดันเกิดขึ้นอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความเจ็บปวดในบริเวณนี้ได้

2.2.2 หูชั้นกลาง เยื่อแก้วหู (Eardrum) จะอยู่ที่บริเวณด้านในสุดของช่องหูชั้นนอก จะเป็นตัวแยกระหว่างหูชั้นนอกและหูชั้นกลาง ภายในหูชั้นกลางจะเต็มไปด้วยอากาศและมีกระดูกชิ้นเล็ก ๆ อยู่ 3 ชิ้น คือ กระดูกฆ้อน (Malleus) กระดูกทั่ง (Incus) และกระดูกโกลน (Stapes) เพื่อทำหน้าที่รับเสียงในหูแต่ละข้างจะมีท่อยูสเตเชียน เชื่อมต่อจากหูชั้นกลางกับ

บริเวณด้านหลังของลำคอ (Nasopharynx) ช่วยในการ “ปรับสมดุล” ของหูชั้นกลางโดยการทำให้ความดันที่กระทำต่อหูสมดุลกันทั้งสองด้าน (ด้านนอกกับด้านใน) แต่เนื่องจากมันถูกปกคลุมด้วยเนื้อเยื่อกระดูกอ่อน (Cartilaginous Tissue) จึงไม่สามารถที่จะยืดขยายได้ เพราะเหตุนี้พยาบาลที่ปฏิบัติงานภายในห้องปรับบรรยากาศ จึงต้องปรับสมดุลภายในหูด้วยความนิ่มนวลเพื่อให้ท่อเปิดและลมผ่านเข้าไปในหูชั้นกลางได้ ในกรณีปรับหูไม่ได้ ความกดดันบรรยากาศภายนอกสูงกว่าภายในหู เยื่อแก้วหูจะถูกดึงเข้าไปในหูชั้นกลาง เมื่อเกิดภาวะดังรั้งเป็นระยะเวลานาน ๆ ข้อต่อที่อยู่ระหว่างเยื่อแก้วหูและกระดูกทั่ง จะแทนที่ด้วยเนื้อเยื่อพังผืด ลักษณะทางคลินิกที่บ่งชี้ถึงภาวะนี้คือการสูญเสียการได้ยินแบบการนำเสียงเสื่อม ในกรณีที่เป็นมากจนไม่มีการเชื่อมต่อติดต่อยกเว้นข้อต่อของกระดูกทั่งและกระดูกโกลนแล้ว ก็จะทำให้เกิดการสูญเสียการได้ยินแบบการนำเสียงเสื่อมได้มากถึง 60 เดซิเบล

2.2.3. หูชั้นใน ภายในหูชั้นในของคนเราจะมีเนื้อเยื่อบาง ๆ กันระหว่างหูชั้นกลางกับหูชั้นใน คือ Round Window และ Oral Window (ภาพที่ 2) เพราะเหตุนี้จึงเป็นเหตุผลที่ทำให้พยาบาลต้องปรับสมดุลหรือเป่าลมเข้าไปใน หูชั้นกลางอย่างนิ่มนวล เพราะการที่ Round หรือ Oral Window ถูกทำลายอาจเป็นเหตุที่ทำให้มีการรั่วไหลของสารน้ำ (Perilymph) จากหูชั้นในเข้าไปในหูชั้นกลาง เป็นผลให้ได้ยินเสียงก้องหรืออื้ออึงภายในหูและอาจทำให้สูญเสียการได้ยินได้ Window rupture อาจเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดอาการเวียนศีรษะหรืออาเจียนอย่างรุนแรงจนทำให้อยู่ในอันตราย หรืออาจถึงขั้นเสียชีวิตได้เมื่ออยู่ในน้ำ



ภาพที่ 2 โครงสร้างที่เป็นกระดูก (Bony Labyrinth) ของหูชั้นใน (ชัยพันธ์ อีระเกียรติกำจร, 2547)

การบาดเจ็บที่หูเป็นสิ่งที่พบได้บ่อยที่สุดของพยาบาลที่ปฏิบัติงานภายในห้องปรับบรรยากาศ การบาดเจ็บของหูที่เกิดจาก Barotrauma อาจเป็นผลทำให้เกิดการสูญเสียการได้ยินอย่างถาวร ผลการศึกษา Skogstad M et al. (2009) ที่ศึกษา Hearing thresholds ของ Air Conduction Thresholds พบว่า สมรรถภาพการได้ยินลดลงที่ 4,000 และ 8,000 เฮิรตซ์ ($p < 0.01$) ที่หูทั้งสองข้าง ในขณะเดียวกันการบาดเจ็บที่เกิดขึ้นสามารถทำให้ลดน้อยลงได้โดยการใช้นาฬิกาในการป้องกันต่าง ๆ ดังนี้

1. การปรับความสมดุลอย่างถูกต้อง เหมาะสม
2. ไม่เข้าปฏิบัติงานภายในห้องปรับบรรยากาศ ในขณะที่เป็นหวัดหรือคัดจมูก
3. ให้ยกเลิกการปฏิบัติงานภายในห้องปรับบรรยากาศ ถ้าไม่สามารถปรับความสมดุลของหูได้

เมื่อมีการดำน้ำอาจทำให้เกิดการบาดเจ็บที่หูได้หลายชนิด ซึ่งการบาดเจ็บที่เกิดขึ้นทั้งหมดควรได้รับการตรวจจากแพทย์

3. การปรับแรงดันในหู

หูของคนเรานั้นเป็นช่องอากาศที่มีท่อเชื่อมต่อกับด้านหลังของคอด้วยท่อยูสเตเชียน หากเราไม่เพิ่มแรงดันในหูส่วนกลางเพื่อให้สมดุลกับแรงดันภายนอกแล้ว สิ่งที่เกิดขึ้นก็คือการบาดเจ็บของหู เราอาจจะรู้สึกตึง ๆ ในตอนแรก และรู้สึกเจ็บมากขึ้นเรื่อย ๆ ตามความลึกที่เราดำน้ำลงไป

วิธีการที่จะปรับแรงดันให้เกิดความสมดุลก็คือการเปิดท่อยูสเตเชียน ซึ่งมักจะปิดอยู่เสมอตามปกติ ท่อแต่ละอันจะมีวาล์วด้านล่างที่เรียกกันว่า "Eustachian Cushion" มีหน้าที่ป้องกันการติดเชื้อจากจมูกไปสู่หูชั้นกลาง การเปิดท่อดังกล่าวนี้นี้จะทำให้อากาศที่มีแรงดันสูงจากคอของเราเข้าไปสู่หูชั้นกลางได้โดยง่าย

การกลืนมักจะส่งผลในการเปิดท่อยูสเตเชียนนี้ เมื่อเราทำการกลืน กล้ามเนื้อเพดานปากจะดึงท่อยูสเตเชียน ให้เปิดและปล่อยให้อากาศเข้าไปในหูจากคอ ทำให้เกิดการปรับแรงดัน เวลาเรากลืนน้ำลาย เราจึงรู้สึกเหมือนกับได้ยินเสียง “คลิก” ทุกครั้งนั่นเอง ในการเข้าปฏิบัติงานภายในห้องปรับบรรยากาศ ต้องปรับแรงดันที่มีการเปลี่ยนแปลงมากและรวดเร็วกว่าที่การกลืนอย่างเดียวจะทำได้ เราจึงต้องใช้วิธีอื่น ๆ เข้ามาช่วยด้วย

วิธีการในการปรับแรงดันนั้น ก็เพื่อเปิดส่วนล่างของท่อยูสเตเชียน เพื่อให้อากาศเข้าไปมีหลายวิธี ดังนี้

3.1 Valsalva Maneuver เป็นวิธีที่ส่วนมากใช้กัน โดยการปิดจมูก (รวมทั้งปากด้วย)

และเป่าลมออกทางจมูกที่ถูกปิดไว้นั้น ทำให้แรงดันกระทำต่อท่อยูสเตเชียน และดันลมเข้าไป แต่วิธีการนี้มีปัญหาอยู่บางประการ นั่นคือวิธีการนี้จะไม่ทำให้กล้ามเนื้อที่เปิดท่อยูสเตเชียน ทำงาน ก็จึงอาจไม่ได้ผลหากท่อนั้นถูกปิดโดยแรงกดดันภายนอกอยู่ นอกจากนั้น ก็อาจเป่าลมแรงเกินไปทำให้เกิดการบาดเจ็บในหูได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาจทำให้ “Round Windows” เกิดการฉีกขาดได้ นอกจากนี้ ก็ไม่ควรเพิ่มแรงกดดันวิธีนี้นานเกินห้าวินาทีด้วย

3.2 Toynbee Maneuver โดยการปิดจมูกเอาไว้ และกลืนน้ำลาย การกลืนจะดึงให้ท่อยูสเตเชียนเปิดขณะที่การเคลื่อนไหวของลิ้น อัดอากาศเข้าไป

3.3 Lowry Technique คือการทำทั้งวิธี Valsalva และ Toynbee พร้อมกัน ขณะที่ปิดจมูก เป่าและกลืนในเวลาเดียวกัน

3.4 Edmonds Technique ขณะที่เกร็งกล้ามเนื้อเพดานปากและคอ ให้ทำการดึงกรามลงมาด้านหน้า และด้านล่าง ขณะที่ทำ Valsalva Maneuver

3.5 Frenzel Maneuver ให้ปิดจมูก และปิดด้านหลังของคอเหมือนกับกำลังยกน้ำหนัก ในขณะนั้นให้ทำเสียงอักษร K วิธีการนี้จะทำให้ลิ้นด้านหลังยกขึ้น กดอากาศเข้าไปในท่อยูสเตเชียน

3.6 Voluntary Tubal Opening โดยการเกร็งกล้ามเนื้อเพดานปากและกล้ามเนื้อคอ ขณะที่ดันกรามไปด้านหน้าและ ด้านล่าง คล้าย ๆ กับการเริ่มต้นหายใจ กล้ามเนื้อดังกล่าวจะดึง ท่อยูสเตเชียนให้เปิด วิธีนี้ต้องใช้การฝึกฝนมาก แต่เมื่อควบคุมได้แล้วจะสามารถเปิดท่อยูสเตเชียนไว้ได้เป็นเวลานานสำหรับการปรับแรงดันอย่างต่อเนื่อง

สมรรถภาพการได้ยิน

1. การตรวจสอบสมรรถภาพการได้ยิน

การทำงานอาจมีผลทำให้เกิดการสูญเสียการได้ยิน ในการทำงานโดยทั่วไป การสูญเสียการได้ยินสามารถเกิดได้จากหลายสาเหตุ เช่น การสัมผัสเสียงดัง การบาดเจ็บที่ศีรษะ การเกิดแผลไฟไหม้บริเวณหู การเกิดการฉีกขาดของแก้วหูจากความกดอากาศสูง ๆ เป็นต้น การตรวจการได้ยินเป็นวิธีการหนึ่งที่สำคัญ ช่วยในการวินิจฉัยความผิดปกติของอวัยวะในการได้ยิน เนื่องจากความผิดปกตินี้จะส่งผลกระทบต่อการใช้ชีวิตประจำวันสำหรับผู้ใหญ่ สามารถบ่งชี้ถึงพยาธิสภาพในหูชั้นนอก หูชั้นกลาง หูชั้นในและประสาทส่วนกลางได้ (สุวิมล รื่นเจริญ, ศิริพันธ์ ศิริวันยงค์ และรัตตินันท์ ภิระวณิชกุล, 2550)

การตรวจสอบสมรรถภาพการได้ยินมีหลายวิธี ได้แก่

1.1 การซักประวัติผู้มีความผิดปกติของหู

ส่วนใหญ่จะมาพบแพทย์ด้วยอาการหลัก ๆ 5 ประการ คือ

- 1.1.1 อาการปวดหู (Otalgia)
- 1.1.2 มีของเหลวไหลออกจากช่องหู (Otorrhea)
- 1.1.3 อาการหูอื้อ ได้ยินเสียงลดลง (Hearing Loss)
- 1.1.4 มีเสียงดังในหู (Tinnitus)
- 1.1.5 มีอาการเวียนศีรษะ (Dizziness or Vertigo)

การซักประวัติควรถามถึง

1. ประวัติการเจ็บป่วยในอดีต ในเรื่องของ เคยเป็นโรคหูมาก่อนหรือไม่ โรคประจำตัวอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น เบาหวาน ความดัน ภูมิแพ้
2. ประวัติการเจ็บป่วยในปัจจุบัน ดังนี้ ก่อนเริ่มอาการปวดหู เคยเป็นหวัดมาก่อน หรือไปดำน้ำ ว่ายน้ำ ขึ้นเครื่องบิน หรือใช้ไม้แคะหู

1.2 การตรวจหูโดยใช้เครื่องส่องหู (Otoscope)

1.2.1 ส่วนประกอบของเครื่องส่องหู

- 1.2.1.1 หัวตรวจหู
- 1.2.1.2 ด้ามมือ (Handle)
- 1.2.1.3 หลอดไฟ
- 1.2.1.4 ถ่านแบตเตอรี่

1.2.2 วิธีการตรวจด้วยเครื่องส่องหู

การตรวจหูประกอบด้วย การตรวจใบหู ช่องหูและเยื่อแก้วหู ก่อนที่จะใช้กล้องส่องหู (Otoscope) ควรตรวจดูใบหู ช่องหู ลักษณะของหูด้านนอกและการผิดปกติ รอยที่ผิวหนัง บวม ตึง การอักเสบ เสียงกรอกรบ หรือสีผิว หลังการตรวจและคลำดู เนื้อเยื่อรอบ ๆ ใบหู เรียบร้อยแล้ว ใช้ Otoscope ส่องดูเยื่อแก้วหูที่อยู่ภายในโดยใช้ที่ถ่างหู (Ear Speculum) อันใหญ่ที่สุด ที่ใส่แล้วมองเห็นได้ชัดเจนและไม่ทำให้ผู้รับการตรวจรู้สึกอึดอัด จัดศีรษะของผู้รับการตรวจ ให้อยู่ในตำแหน่งที่สามารถใส่เครื่องมือได้ ทำให้ช่องหูตรงโดยการดึงใบหู ไปข้างหลัง แล้วยกขึ้นเบา ๆ ตรวจดูหูชั้นนอกโดยสังเกตดูชนที่มีมากกว่าปกติ ขี้หู อาการแดง และมีอะไรอุดตันในช่องหูหรือไม่ ผู้ที่มีขี้หูอุดตัน ทำให้มองไม่เห็นเยื่อแก้วหู ให้ทำความสะอาดด้วย น้ำผสม ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen Peroxide) โดยทำให้น้ำที่ผสมมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิร่างกายก่อน

ข้อห้ามคือ ห้ามทำกับผู้ป่วยที่เยื่อแก้วหูฉีกขาดหรือหูชั้นกลางอักเสบ (Otitis Media)

ภาวะแทรกซ้อนที่พบได้บ่อยที่สุดจากการรักษาด้วยห้องปรับบรรยากาศ คือ Barotrauma

1.3 การตรวจด้วยเครื่องตรวจสอบสมรรถภาพการได้ยิน (Audiometry)

การตรวจการได้ยินด้วยเครื่อง Audiometer ทำการตรวจโดยใช้คลื่นเสียงบริสุทธิ์ (Pure Tone) ที่ความถี่ 250, 500, 1,000, 2,000, 4,000, 6,000 และ 8,000 เฮิรตซ์ มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้จำแนกความผิดปกติของการรับฟังเสียงที่เกิดขึ้นว่าเป็นประเภทใด ซึ่งอาศัยหลักการทางธรรมชาติของการเดินทางของเสียงจากแหล่งกำเนิดเข้าสู่หูชั้นใน คือการนำเสียงทางอากาศ (Air conduction, AC) และการนำเสียงทางกระดูก (Bone conduction, BC) โดยมีส่วนประกอบหลักการทำงาน วิธีการตรวจและแปลผลการตรวจ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1.3.1 ส่วนประกอบของเครื่อง Audiometer ที่สำคัญมีดังนี้

- 1.3.1.1 Oscillator เป็นเครื่องกำเนิดเสียงที่ความถี่ต่าง ๆ ตั้งแต่ 125-8,000 เฮิรตซ์
- 1.3.1.2 Amplifier เครื่องขยายสัญญาณเสียง
- 1.3.1.3 Attenuator เครื่องควบคุมความดังของเสียง
- 1.3.1.4 Transducer เครื่องมือส่งสัญญาณเสียงสำหรับการตรวจหู
- 1.3.1.5 Ear Phone ใช้ครอบหูทั้ง 2 ข้างเมื่อทำการตรวจการนำเสียงทางอากาศ
- 1.3.1.6 Bone Vibrator เพื่อตรวจการนำเสียงทางกระดูก
- 1.3.1.7 Meter

1.3.2 หลักการทำงานของเครื่อง Audiometer

การทำงานของเครื่องจะเริ่มจากเสียงที่ผ่านออกมาจาก Oscillator จะถูกส่งผ่านไปยังเครื่องขยายสัญญาณเสียง (Amplifier) และถูกส่งต่อไปยังเครื่องควบคุมความดังของเสียง (Attenuator) ซึ่งจะทำหน้าที่เพิ่มหรือลดความดังเสียงมีหน่วยเป็นเดซิเบล หลังจากนั้นเสียงจะผ่านไปยังเครื่องมือส่งสัญญาณเสียงสำหรับการตรวจหู (Transducer) ซึ่งประกอบด้วย Ear Phone เพื่อทำการตรวจการนำเสียงทางอากาศ และ Bone Vibrator เพื่อตรวจการนำเสียงทางกระดูก

1.3.3 วิธีการตรวจการได้ยิน

ในการตรวจการได้ยินด้วยเครื่อง Audiometer นั้นจะทำการตรวจการได้ยินโดยการนำเสียงทางอากาศ (Air conduction, AC) และการนำเสียงทางกระดูก (Bone Conduction, BC) ซึ่งทั้งสองวิธีเป็นการตรวจเพื่อหาความไวของการได้ยิน (Hearing Threshold) คือ ระดับความดังเสียงที่เบาที่สุดที่หูจะเริ่มรู้สึก (Just Heard Level) ซึ่งรายละเอียดของการหา Hearing Threshold การตรวจการได้ยิน การนำเสียงทางอากาศและการนำเสียงทางกระดูก มีดังต่อไปนี้

การหา Hearing Threshold สามารถทำได้ 3 ลักษณะ ดังนี้คือ

1.3.3.1 Descending Technique โดยการปล่อยระดับเสียงที่ตั้ง เพื่อให้ผู้ถูกทดสอบได้ยินก่อนแล้วค่อย ๆ ลดความดังลง ทีละน้อย เรียกว่า วิธีการตรวจแบบลง 10 เดซิเบล ขึ้น 5 เดซิเบล โดยจะลดความดังเสียงลงมาเป็นขั้น ๆ ขั้นละ 10 เดซิเบล เมื่อถึงจุดหนึ่งที่ถูกทดสอบไม่ได้ยินเสียง ให้เพิ่มระดับเสียงจากจุดที่ไม่ได้ยินนั้นอีก 5 เดซิเบล หากไม่ได้ยินก็ให้เพิ่มอีก 5 เดซิเบล จนเริ่มได้ยิน แล้วลดเสียงลงไปอีก 10 เดซิเบล เมื่อแน่ใจว่าผู้ถูกทดสอบได้ยิน แ่นชัดที่จุดนั้น ๆ ให้ลดลง 10 เดซิเบล อีกครั้ง ถ้าไม่ได้ยิน ให้เพิ่มขึ้น 5 เดซิเบล ทำกลับไปกลับมาจนได้จุดที่ถูกทดสอบได้ยินโดยใช้ระดับเสียงเบาที่สุดที่ผู้ถูกตรวจสามารถตอบสนองได้ (ได้ยินร้อยละ 50 ไม่ได้ยินร้อยละ 50) ของจำนวนครั้งที่ให้ สัญญาณ จุดนั้นคือ Hearing Threshold

1.3.3.2 Ascending Technique ใช้ในกรณีที่ผู้ถูกทดสอบอายุน้อย หรือหูหนวกมาก ๆ รวมทั้งผู้ที่ไม่แน่ใจว่าจะสร้างท่า เป็นหูหนวกหรือไม่ วิธีนี้เริ่มจากความตั้งใจที่ผู้ถูกทดสอบไม่ได้ยินก่อน แล้วเพิ่มความดังทีละ 10 เดซิเบล จนถึง จุดที่ผู้ถูกทดสอบเริ่มได้ยินเสียงเบาที่สุด แล้ว ลดเสียงลง 5 เดซิเบล ทำกลับไปกลับมาจนได้จุดที่ผู้ถูกทดสอบได้ ยินเสียงบ้างไม่ได้ยินเสียงบ้าง จุดนั้นคือ Hearing Threshold

1.3.3.3 Combination Technique ใช้วิธีผสมระหว่างวิธีที่ 1 และที่ 2 โดยใช้ระดับเสียงดัง-เบาสลับกันไปการเตรียม ผู้ถูกทดสอบก่อนตรวจผู้ถูกทดสอบควรดับฟังเสียงดังเกิน 80 เดซิเบลเอ เป็นเวลา 8-16 ชั่วโมง เพื่อหลีกเลี่ยง การเกิดหูตึงแบบชั่วคราว (TTS) หากไม่สามารถทำได้ในทางปฏิบัติ ต้องสวมใส่ที่ครอบหูลดเสียงตลอดเวลาที่สัมผัส เสียงก่อนการทดสอบ นอกจากนี้ในการตรวจการได้ยินยังประกอบด้วยอุปกรณ์การตรวจอื่น ๆ ที่สำคัญ คือ ห้องตรวจการได้ยิน (Testing Room) จะต้องเป็นห้องที่ปราศจากเสียงรบกวน เพื่อไม่ให้เสียงจากภายนอกห้องตรวจเข้าไปมีผลต่อสัญญาณเสียงของเครื่องที่ใช้ตรวจ สามารถแบ่งประเภทของห้องตรวจได้ ดังนี้

1. ห้องที่เก็บเสียงได้เงียบจริง ๆ เรียกว่า Sound Proof Room
2. ห้องที่เก็บเสียงได้มากแต่ยังมีเสียงรบกวนอยู่บ้าง เรียกว่า Sound Treated Room

โดยจำเป็นต้องทำการตรวจวัดระดับเสียงในห้อง เพื่อไม่ให้เกินค่าระดับเสียงสูงสุดที่ยอมให้มีได้ (Maximum Permissible Ambient Noise) ตามมาตรฐานของ American National Standard Institute (ANSI) คือมาตรฐานของห้องที่ใช้ในการตรวจการได้ยินทั่วไปหรือในโรงงาน และมาตรฐานของห้องที่ใช้ตรวจเพื่อวินิจฉัย ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าระดับเสียงที่ยอมให้มีได้ในห้องตรวจการได้ยินตามมาตรฐานของ
ANSI S3.1-1999

ประเภทห้องตรวจ	มาตรฐานระดับเสียง (dB) ที่ความถี่กลาง (Center Frequency of Band) Hz						
	250	500	1,000	2,000	4,000	6,000	8,000
เพื่อการวินิจฉัย	25	26	30	38	51	52	56
ในโรงงาน	40	40	40	47	57	62	67

ที่มา: มาตรฐาน American National Standards Institute (ANSI), 1999

2. การแบ่งระดับการสูญเสียการได้ยิน

แบ่งความรุนแรงของการสูญเสียการได้ยินโดยอาศัยค่าการตรวจการได้ยินโดยใช้เสียง
บริสุทธิ์ดังนี้

0-25 dB	ปกติ (Normal Hearing)
26-40 dB	หูตึงเล็กน้อย (Mild Hearing Loss)
41-55 dB	หูตึงปานกลาง (Moderate Hearing Loss)
56-70 dB	หูตึงมาก (Moderate to Severe Hearing Loss)
71-90 dB	หูตึงรุนแรง (Severe Hearing Loss)
>90 dB	หูหนวก (Profound Hearing Loss)