

Carbon dioxide

เรียบเรียงโดย นพ.วิวัฒน์ เอกบูรณะวัฒน์

วันที่เผยแพร่ 31 พฤษภาคม 2555 ||||| **ปรับปรุงครั้งล่าสุด** 11 ธันวาคม 2561

ชื่อ คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide) ||||| **ชื่ออื่น** Carbonic acid gas, Carbonic anhydride, Carbonic oxide, Carbon oxide, Dry ice, Card ice

สูตรโมเลกุล CO₂ ||||| **น้ำหนักโมเลกุล** 44.01 ||||| **CAS Number** 124-38-9 ||||| **Un Number** Carbon dioxide 1013, Carbon dioxide (refrigerated liquid) 2187, Carbon dioxide (solid, also called dry ice) 1845

ลักษณะทางกายภาพ ในสภาวะปกติจะเป็นแก๊ส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส หนักกว่าอากาศ หากถูกอัดด้วยความดันและทำให้เย็นลง จะอยู่ในสถานะของเหลวและของแข็งได้ ถ้าอยู่ในรูปของเหลว จะเรียกว่าคาร์บอนไดออกไซด์เหลว (Liquid carbon dioxide) ถ้าอยู่ในรูปของแข็งเป็นผลึกเย็น จะเรียกว่าน้ำแข็งแห้ง (Dry ice) [1]

คำอธิบาย คาร์บอนไดออกไซด์เป็นแก๊สที่มีอยู่ทั่วไปในบรรยากาศ แก๊สนี้มีบทบาทสำคัญต่อการดำรงชีพของทั้งมนุษย์ สัตว์ และพืช เป็นสารตั้งต้นที่พืชใช้ผลิตอาหารโดยกระบวนการสังเคราะห์แสง ในด้านอุตสาหกรรมนั้น คาร์บอนไดออกไซด์ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในหลายๆ ด้าน โอกาสการเกิดพิษของแก๊สนี้ขึ้นนี้ ในการทำงานโดยปกติมีโอกาสเกิดขึ้นได้น้อย อย่างไรก็ตาม หากได้รับแก๊สนี้เข้าไปในปริมาณมาก จะทำให้หายใจเร็ว ชีพจรเร็ว หัวใจเต้นเร็ว กตสมอง ซึม มึนงง สับสน หมดสติ และอาจเสียชีวิตได้

ค่ามาตรฐานในสถานที่ทำงาน ACGIH TLV (2016): TWA = 5,000 ppm, STEL = 30,000 ppm [2] ||||| NIOSH REL: TWA = 5,000 ppm (9,000 mg/m³), STEL = 30,000 ppm (54,000 mg/m³), IDLH = 40,000 ppm (72,000 mg/m³) [3] ||||| OSHA PEL: TWA = 5,000 ppm (9,000 mg/m³) [3] ||||| ประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่อง ชีตจำกัด ความเข้มข้นของสารเคมีอันตราย (พ.ศ. 2560): ไม่ได้กำหนดไว้ [4]

ค่ามาตรฐานในร่างกาย ACGIH BEI (2016): ไม่ได้กำหนดไว้ [2]

การก่อมะเร็ง IARC Classification: ไม่ได้กำหนดไว้ [5] ||||| ACGIH Carcinogenicity (2016): ไม่ได้กำหนดไว้ [2]

แหล่งที่พบ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นแก๊สที่พบได้อยู่ทั่วไปตามธรรมชาติ ในบรรยากาศของโลกมีสัดส่วนของแก๊สนี้อยู่ประมาณ 0.04 % [6] นอกจากนี้ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ยังสามารถเกิดขึ้นได้จากการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ของเชื้อเพลิงที่มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ เช่น ไม้ ถ่านหิน แก๊สธรรมชาติ น้ำมันปิโตรเลียม และสารอินทรีย์ชนิดต่างๆ ในการผลิตทางอุตสาหกรรมอาจผลิตแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้จากปฏิกิริยาเคมีหลายแบบ เช่น การให้ความร้อนกับหินปูน (Limestone) ซึ่งส่วนประกอบในเนื้อหินส่วนใหญ่เป็นแคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate หรือ CaCO₃) การทำปฏิกิริยาระหว่างกรด (Acid) กับแคลเซียมคาร์บอเนต ก็ทำให้ได้คาร์บอนไดออกไซด์ออกมาเช่นกัน แก๊สนี้ยังเป็นผลผลิตพลอยได้ (By-product) จากการผลิต แอมโมเนีย (Ammonia) และการถลุงแร่เหล็ก (Iron) ด้วย การย่อยสลายน้ำตาลของยีสต์ (Yeast) เช่น ที่พบในกระบวนการหมักไวน์ หมักเบียร์ จะทำให้ได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และเอทานอล (Ethanol) การหายใจของคน สัตว์ และพืชในเวลากลางคืน จะได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาเช่นกัน จากการเพิ่มขึ้นของภาคอุตสาหกรรม ที่ใช้น้ำมันปิโตรเลียม ถ่านหิน และแก๊สธรรมชาติ เป็นแหล่งเชื้อเพลิง ทำให้พบว่า ในปัจจุบันปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่พบในบรรยากาศโลก นั้นมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นกว่าในอดีต [7] การระเบิดของภูเขาไฟ และการเกิดไฟป่า ก็เป็นอีกแหล่งหนึ่งที่เพิ่มปริมาณแก๊ส

คาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศโลกได้เช่นกัน สำหรับการนำแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ไปใช้ประโยชน์นั้นมีหลายอย่าง ที่สำคัญอย่างหนึ่งคือพืชชนิดต่างๆ ล้วนต้องใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการสร้างอาหารโดยการสังเคราะห์แสง ในร่างกายของมนุษย์ ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหมาะสมในเลือด ซึ่งอาจจะละลายอยู่ในพลาสมา เกาะอยู่กับฮีโมโกลบิน หรืออยู่ในรูปไบคาร์บอเนตไอออน จะเป็นตัวควบคุมปรับสมดุล กรด-ด่าง ในเลือด ส่วนการใช้ในเชิงอุตสาหกรรมนั้นทำได้หลายอย่าง เช่น อัดใส่ลงในน้ำได้เป็นโซดา อัดใส่ลงในน้ำหวานได้เป็นน้ำอัดลม อัดใส่ลงในลูกอมได้เป็นลูกอมแตกในปาก (Pop-rock) ยีสต์ จะผลิตแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ทำให้ก้อนขนมปังพองฟูขึ้น ในระบบปัมลม (Pneumatic system) ของเครื่องจักร หุ่นยนต์ แขนกล หรือเครื่องมือต่างๆ คาร์บอนไดออกไซด์มักถูกใช้เป็นตัวเลือกแรกๆ เพราะเป็นแก๊สที่มีราคาถูกและไม่ติดไฟ ในเสื้อชูชีพแบบพองลมได้เอง จะมีหลอดผลิตแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์บรรจุอยู่ในและหลอดผลิตแก๊สจะทำงานเมื่อถูกดึงสลัก คาร์บอนไดออกไซด์ยังเป็นแก๊สที่นิยมใช้ในการดับเพลิง จะพบบรรจุอยู่ในถังดับเพลิงที่มีขายทั่วไปได้ ในงานเชื่อมด้วยแก๊ส (Gas welding) คาร์บอนไดออกไซด์จะถูกใช้ป้องกันไม่ให้โลหะที่เชื่อมเกิดสนิมขึ้น โดยการป้องกันผิวโลหะที่เชื่อมไม่ให้สัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ ในอุตสาหกรรมผลิตยาและเคมี คาร์บอนไดออกไซด์เหลวถูกนำมาใช้เป็นตัวทำละลายในการผลิตยา และสารเคมีบางชนิด และยังนำมาใช้ในกระบวนการแยกสารกาเฟอีน (Caffeine) ออกจากกาแฟได้อีกด้วย ในการผลิตแสงเลเซอร์นั้น เลเซอร์ชนิดหนึ่งที่มีความนิยมคือเลเซอร์ที่ผลิตจากหลอดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide laser) ในกระบวนการขูดเจาะน้ำมัน คาร์บอนไดออกไซด์ถูกใช้ฉีดลงในแหล่งน้ำมันเพื่อเพิ่มปริมาณของน้ำมันดิบที่จะสูบขึ้นมาได้ ในอุตสาหกรรมแช่เย็น อาหาร ไอศกรีม รวมถึงเนื้อเยื่อทางชีวภาพ คาร์บอนไดออกไซด์เหลวและน้ำแข็งแห้งถูกนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างมาก ในทางด้านความบันเทิง การใส่น้ำแข็งแห้งลงในน้ำจะทำให้เกิดหมอกเทียมขึ้น ซึ่งถูกนำมาใช้ประดับตกแต่งสถานที่ หรือประกอบการแสดงโดยใช้เครื่องสร้างหมอกเทียม ในทางด้านเกษตรกรรมนั้น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ถูกเติมลงไป ในอาคารเรือนกระจก (Greenhouse) ขนาดใหญ่ เพื่อให้เกิดความอบอุ่นภายในเรือนกระจกมากขึ้น ทำให้พืชภายในอาคารเรือนกระจกเติบโตได้ดี เหตุการณ์คล้ายคลึงกันนี้เมื่อเกิดขึ้นกับบรรยากาศโลก จะเป็นปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เรียกว่าปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse effect) คือการที่แก๊สบางชนิด รวมถึงแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ด้วย มีปริมาณมากขึ้นในบรรยากาศโลก แก๊สเหล่านี้สะท้อนรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์และกักเก็บไว้ ทำให้อุณหภูมิของพื้นผิวโลกสูงขึ้น ในทางการแพทย์ในอดีต หลักการทำให้คาร์บอนไดออกไซด์ในเลือดคั่ง (Hypercapnia) ถูกนำมาใช้ในการรักษาผู้ป่วยกลุ่มอาการหายใจเร็ว (Hyperventilation syndrome) เนื่องจากความวิตกกังวล (Anxiety) โดยให้ผู้ป่วยหายใจผ่านถุงกระดาษ (Paper bag) หวังให้เกิดภาวะคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือดคั่งเพื่อแก้ไขภาวะคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือดต่ำ (Hypocapnia) เนื่องจากการหายใจเร็ว ซึ่งเชื่อว่าจะทำให้อาการดีขึ้น แต่ปัจจุบันวิธีการรักษานี้ไม่นิยมใช้แล้ว เนื่องจากอาจทำให้ผู้ป่วยเกิดอันตรายจากภาวะออกซิเจนในเลือดต่ำ (Hypoxia) [8] และหากแพทย์วินิจฉัยผิด นาวีรีนนี่ไปใช้กับผู้ป่วยที่มีภาวะหายใจเร็วเนื่องจากสาเหตุอื่น เช่น โรคหัวใจขาดเลือด (Myocardial ischemia) อาจทำให้เป็นอันตรายถึงตายได้ [9] ปัจจุบันการรักษาผู้ป่วยกลุ่มอาการหายใจเร็วเนื่องจากความวิตกกังวลจึงนิยมใช้วิธีอื่นในการรักษา เช่น การแนะนำให้ผู้ป่วยหายใจเองซ้ำๆ หรือการให้ยาคลายวิตกกังวลแทน

กลไกการก่อโรค แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ก่อโรคได้ทางหนึ่งโดยการแทนที่ออกซิเจน (Asphyxiant) ทำให้ออกซิเจนในอากาศมีไม่พอ จึงเกิดพิษจากภาวะออกซิเจนในเลือดต่ำ (Hypoxia) ขึ้นได้ การที่มีคาร์บอนไดออกไซด์คั่งในเลือด (Hypercapnia) ไม่ว่าจะจากการขาดออกซิเจนหรือได้รับคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปมากก็ตาม จะทำให้เลือดเป็นกรด (Acidosis) เกิดการขยายตัวของหลอดเลือด กระตุ้นระบบหายใจให้หายใจเร็วขึ้น ทำให้หัวใจเต้นเร็ว และกดสมอง สำหรับกลไกการก่อโรคในกรณีคาร์บอนไดออกไซด์เหลวกับน้ำแข็งแห้งนั้น จะก่ออันตรายจากความเย็นจัด ซึ่งสามารถกัดกร่อนเนื้อเยื่อผิวหนังส่วนที่สัมผัสทำให้เกิดเนื้อตายได้

การเตรียมตัวเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉิน ในความเป็นจริงแล้ว ภาวะพิษจากการได้รับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณสูงเข้าป่านั้นเกิดไม่บ่อยนัก ในกรณีของอันตรายจากการทำงานในที่อับอากาศ ปัญหาเกิดจากการที่สถานที่อับอากาศนั้น มีระดับ

ออกซิเจนไม่เพียงพอ หรือมีแก๊สพิษอื่น เช่น แก๊สไซเน่า หรือแก๊สมีเทน สะสมอยู่ในปริมาณสูง มากกว่าที่จะเกิดจากการที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สะสมอยู่มาก ในการใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ทางด้านอุตสาหกรรมนั้น ก็มักใช้แก๊สในปริมาณไม่มาก ทำให้โอกาสจะพบเหตุการณ์การได้รับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์รั่วไหล มีผู้ป่วยได้รับพิษจากแก๊สเข้าไปในปริมาณสูง มีได้ไม่บ่อยกรณีศึกษาหนึ่งที่ทำให้เราได้ข้อมูลพิษจากการได้รับคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปในร่างกายปริมาณสูง คือเหตุการณ์ที่ทะเลสาบเนียนอส (Lake Nyos) ในประเทศแคเมอรูน เหตุการณ์เกิดขึ้นในปี ค.ศ. 1986 [10] มีการปะทุของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่สะสมอยู่ที่ก้นทะเลสาบออกมา ทำให้ชาวบ้านในชุมชนที่อยู่โดยรอบทะเลสาบนั้น ได้รับพิษจากแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปในปริมาณสูง เหตุการณ์นี้เป็นภัยธรรมชาติที่ทำให้มีผู้เสียชีวิตไปถึงกว่า 1,700 คน แม้จะมีโอกาสเกิดการรั่วไหลไม่มากนัก หากเกิดเหตุฉุกเฉินจากการรั่วไหลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้น ผู้เข้าไปช่วยเหลือผู้ป่วยต้องใส่ชุดป้องกันที่เหมาะสมเป็นชุดที่มีถังบรรจุอากาศในตัว ในกรณีของคาร์บอนไดออกไซด์เหลวและน้ำแข็งแห้ง โอกาสแพร่กระจายรั่วไหลไปในวงกว้างมีได้น้อย เนื่องจากมีสถานะเป็นของเหลวและของแข็ง การเข้าไปช่วยเหลือผู้ป่วยต้องระวังในเรื่องความเย็น ผู้ที่เข้าไปช่วยเหลือต้องใส่ชุดและถุงมือที่หนาเพียงพอ ไม่สัมผัสคาร์บอนไดออกไซด์เหลวและน้ำแข็งแห้งด้วยมือเปล่า

อาการทางคลินิก

- **อาการเฉียบพลัน** การได้รับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์นั้น เข้าสู่ร่างกายโดยการสูดหายใจเข้าไปเป็นหลัก การสัมผัสกับแก๊สที่ผิวหนังหรือกลืนกินเข้าไปไม่ทำให้เกิดพิษ เมื่อสูดหายใจเอาแก๊สเข้าไป ในระยะแรกจะทำให้เกิดอาการหายใจเร็ว หายใจลึกขึ้น ความดันโลหิตสูงขึ้น หัวใจเต้นเร็ว ชีพจรเร็ว หากได้รับในปริมาณมากขึ้น จะเริ่มมีผลกดสมอง ทำให้ซีมลง ปวดศีรษะ วิงเวียนศีรษะ มึนงง สับสน การได้ยินลดลง และรบกวนการมองเห็น เนื่องจากสมองถูกกดการทำงาน ที่ผิวหนังจะเกิดหลอดเลือดขยายตัว เหงื่อออก กล้ามเนื้อสั่นกระตุก (Tremor) อาจพบมีคลื่นไส้ อาเจียน และท้องเสียได้ บางรายอาจมีอาการคลั่ง (Panic) หากได้รับปริมาณสูงมากจะทำให้หมดสติ และเสียชีวิตในที่สุด อาการพิษจากแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์นี้ มักจะพบร่วมกับภาวะขาดออกซิเจน (Hypoxia) ได้เสมอ ซึ่งภาวะขาดออกซิเจน อาจนำไปสู่อาการอย่างอื่น ๆ เช่น สมองตาย ไตเสื่อม ตาบอด ตามมาได้ ในผู้ป่วยที่รอดชีวิตจากเหตุการณ์ที่ทะเลสาบเนียนอส [10] หลายรายมีอาการ ไอ ไอเป็นเลือด หอบเหนื่อย ระบายเคืองตา และแผลไหม้ที่ผิวหนังด้วย อย่างไรก็ตามเนื่องจากแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่รั่วไหลในเหตุการณ์ทะเลสาบเนียนอสมีความร้อนจากภูเขาไฟปะปนมาด้วย อาการระคายเคืองและแผลไหม้ที่ผิวหนังดังกล่าว จึงอาจจะเกิดจากไอความร้อน ไม่ได้เกิดจากพิษของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ก็ได้
- **อาการระยะยาว** การได้รับคาร์บอนไดออกไซด์ในระดับสูงกว่าปกติสามารถพบได้ในเด็กที่ระบบระบายอากาศไม่ดี ระดับของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สะสมนั้น ถูกใช้เป็นตัวชี้วัดหนึ่ง เพื่อดูอัตราการไหลเวียนของอากาศภายในอาคาร ผลของการได้รับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ไปนานๆ อาจทำให้ปวดหัวบ่อย กดสมอง มึนงง ง่วงซึม เกรียด ความดันโลหิตและอัตราการหายใจอาจเพิ่มสูงขึ้นได้ ในกรณีของผู้รอดชีวิตจากการได้รับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ปริมาณสูงนั้น การศึกษาจากเหตุการณ์ที่ทะเลสาบเนียนอส หลังจากเกิดเหตุการณ์ประมาณ 4 ปี ไม่พบว่าผู้รอดชีวิตจากเหตุการณ์มีอาการของระบบทางเดินหายใจ เช่น ไอ มีเสมหะ หรือหอบเหนื่อยตกค้าง และสมรรถภาพปอดไม่ได้ลดลง [11]
- **อันตรายจากน้ำแข็งแห้ง** ในกรณีของคาร์บอนไดออกไซด์เหลว และน้ำแข็งแห้งนั้น อันตรายที่เกิดขึ้นจะเกิดจากความเย็นเป็นหลัก อย่างไรก็ตาม ไอระเหยของคาร์บอนไดออกไซด์เหลว และน้ำแข็งแห้ง ที่ระเหยกลับเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ หากอยู่ในสถานที่ปิดและได้รับโดยการสูดดมเข้าไปมากๆ ก็อาจทำให้เกิดพิษจากแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้เช่นเดียวกัน ปัญหาจากความเย็นของคาร์บอนไดออกไซด์เหลวและน้ำแข็งแห้งนี้ จะทำให้ผิวหนังที่สัมผัสเกิดแผล เป็นตุ่มน้ำ (Blister) และเนื้อตายจากการโดนความเย็น (Frostbite) ได้ ปัญหาจากความเย็นดังกล่าว หากสัมผัสกับดวงตาหรือกลืนกินเข้าไป ก็จะทำให้เกิดการบาดเจ็บต่อเนื้อเยื่อตาและเนื้อเยื่อทางเดินอาหารได้เช่นกัน [1,12]

การตรวจทางห้องปฏิบัติการ การตรวจเพื่อยืนยันการสัมผัสและช่วยในการรักษาที่ดีมากอย่างหนึ่งคือ การตรวจระดับแก๊สในหลอดเลือดแดง (Arterial blood gas) ซึ่งภาวะคาร์บอนไดออกไซด์สูง ที่มักพบร่วมกับภาวะออกซิเจนต่ำนี้ จะทำเลือดมีความ

เป็นกรดมากขึ้น (Blood pH < 7.35) ระดับคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือดสูง (PaCO₂ > 45 mmHg) และภาวะขาดออกซิเจนที่มักพบร่วมกัน จะระดับทำให้ระดับออกซิเจนในเลือดต่ำกว่าปกติ (PaO₂ < 80 mmHg) หากตรวจระดับเกลือแร่ในเลือดอาจพบระดับของไบคาร์บอเนตไอออนสูงขึ้นได้ (HCO₃⁻ > 26 mmol/L) การตรวจอื่นๆ ที่ได้ประโยชน์ในการรักษา คือ การตรวจวัดระดับออกซิเจนจากปลายนิ้ว (Pulse oximetry) การตรวจการทำงานของไต (BUN and creatinine) การทำงานของตับ (Liver function test) ระดับน้ำตาลในเลือด (Blood sugar) คลื่นไฟฟ้าหัวใจ (Electrocardiogram) เป็นต้น

การดูแลรักษา

- **การปฐมพยาบาล** การรักษาภาวะได้รับคาร์บอนไดออกไซด์เกิน (ร่วมกับภาวะขาดออกซิเจน) ที่สำคัญที่สุดคือการให้ออกซิเจนเสริม ในอันดับแรก ผู้ช่วยเหลือนำผู้ป่วยออกจากสภาวะขาดอากาศ หรือบริเวณที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สะสมอยู่มากออกมาให้เร็วที่สุดก่อน ตรวจสอบการหายใจ ถ้าหมดสติและไม่หายใจแล้ว ต้องรีบทำการช่วยฟื้นคืนชีพโดยการปั๊มหัวใจ ช่วยหายใจ หน่วยกู้ชีพอาจพิจารณาใส่ท่อช่วยหายใจเพื่อรักษาชีวิต และรีบให้ออกซิเจนเสริมด้วยความรวดเร็ว จากนั้นรีบนำส่งพบแพทย์ การล้างตัวไม่จำเป็น
- **การรักษา** แกร็บควรประเมินระดับความรู้สึกตัวของผู้ป่วย ถ้าหมดสติ หัวใจหยุดเต้นให้ทำการช่วยปั๊มหัวใจ ถ้าไม่หายใจให้ใส่ท่อและช่วยหายใจ หากระดับความรู้สึกตัวลดลง หายใจเร็ว ชีพจรเร็ว ต้องรีบให้ออกซิเจนเสริม ตรวจวัดระดับออกซิเจนในเลือด ตรวจเลือดดูระดับแก๊สและระดับเกลือแร่ในเลือด ทำการรักษาไปตามความผิดปกติที่พบ ติดตามระดับออกซิเจนในเลือดให้สูงเพียงพอ ตรวจดูและระมัดระวังการล้มเหลวของอวัยวะภายใน เช่น ภาวะไตเสื่อม ภาวะสมองตายที่อาจเกิดขึ้นได้
- **การรักษากรณีอันตรายจากน้ำแข็งแข็ง** ผู้เข้าช่วยเหลือต้องใส่เสื้อผ้าและถุงมือที่หนาเพียงพอ เพื่อป้องกันอันตรายจากความเย็น นำผู้ป่วยออกจากสถานที่เกิดเหตุ หากมีเศษน้ำแข็งแข็งติดอยู่ตามเสื้อผ้าและร่างกายผู้ป่วยให้ปัดออก ผู้ป่วยที่สัมผัสคาร์บอนไดออกไซด์เหลวหรือน้ำแข็งแข็ง อาจมีภาวะเนื้อตายจากการสัมผัสความเย็น (Frostbite) บางครั้งเสื้อผ้ามีการเกาะยึดติดกับผิวหนัง การถอดเสื้อผ้าที่ปกคลุมอยู่ควรทำอย่างระมัดระวัง หรือถ้าไม่แน่ใจไม่ควรถอดออก เพราะถ้ารีบถอดออกอย่างรุนแรงอาจทำให้ผิวหนังของผู้ป่วยลอกติดกับเสื้อผ้าออกมาด้วย ให้ผู้ป่วยอยู่ในที่อบอุ่นและแห้ง และรีบส่งผู้ป่วยไปพบแพทย์ที่โรงพยาบาล การรักษาที่โรงพยาบาล ให้แช่ส่วนที่เกิดอาการในน้ำอุ่นๆ ก่อน แล้วจึงค่อยทำการถอดเสื้อผ้าส่วนนั้นออกอย่างระมัดระวัง ทำให้ส่วนที่เกิดอาการบาดเจ็บได้รับความอบอุ่นเพียงพอ หากมีภาวะเนื้อตายเกิดขึ้นมาก ให้ส่งปรึกษาศัลยแพทย์

การป้องกันและเฝ้าระวัง แม้ว่าโอกาสการเกิดพิษจากแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในการทำงาน จะเกิดขึ้นได้น้อย อย่างไรก็ตาม หากมีการประเมินความเสี่ยง แล้วมีโอกาสที่สถานที่ทำงานจะเกิดการค้างสะสมของแก๊สได้ หรือมีการใช้แก๊สนี้ในปริมาณมาก ให้ทำการป้องกันโดยยึดหลักการสามส (ตามหลักการด้านอาชีวอนามัย การจำกัดแก๊สในถังบรรจุต้องทำให้มีมาตรฐาน เพื่อลดโอกาสการรั่วไหล การทำงานในที่อับอากาศ ต้องมีการตรวจสอบระดับแก๊ส และมีมาตรการด้านความปลอดภัยควบคุมกรณีคาร์บอนไดออกไซด์คั่งเนื่องจากกระบวนการระบายอากาศภายในอาคารไม่ดี แก๊สได้โดยการออกแบบระบบระบายอากาศให้ไหลเวียนดีขึ้น ส่วนกรณีของคาร์บอนไดออกไซด์เหลวและน้ำแข็งแข็ง เพื่อความปลอดภัยต้องมีการติดฉลากระบุชื่อสารเคมีให้ทราบได้ชัดเจน เก็บไว้ให้ห่างแหล่งน้ำและความชื้น เก็บในห้องเย็นที่ปิดสนิท

เอกสารอ้างอิง

1. Farrow C, Wheeler H, Bates N, Murray V. The chemical incident management handbook. London: The Stationery Office; 2000.
2. American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). TLVs and BEIs. Cincinnati: ACGIH; 2016.

3. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). NIOSH Pocket guide to chemical hazards (NIOSH Publication No. 2005-149). 3rd printing. Cincinnati: NIOSH; 2007.
4. ประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่อง ชี้แจงจำกัดความเข้มข้นของสารเคมีอันตราย. ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 134 ตอนพิเศษ 198 ง. (ลงวันที่ 28 มิถุนายน 2560).
5. International Agency for Research on Cancer (IARC). IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans – List of classifications volume 1 – 123 [Internet]. 2018 [cited 2018 Dec 11]. Available from: <https://monographs.iarc.fr/list-of-classifications-volumes/>.
6. Sharp T. Earth's atmosphere: Composition, climate & weather [Internet]. 2017 [cited 2018 Dec 11]. Available from: <https://www.space.com/17683-earth-atmosphere.html>.
7. Environmental Protection Agency (EPA). Atmospheric concentrations of greenhouse gases [Internet]. 2016 [cited 2018 Dec 11]. Available from: https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-08/documents/print_ghg-concentrations-2016.pdf.
8. Callahan M. Panic disorders, hyperventilation, and the dreaded brown paper bag. *Ann Emerg Med* 1997;30(6):838.
9. Callahan M. Hypoxic hazards of traditional paper bag rebreathing in hyperventilating patients. *Ann Emerg Med* 1989;18(6):622-8.
10. Baxter PJ, Kapila M, Mfonfu D. Lake Nyos disaster, Cameroon, 1986: the medical effects of large scale emission of carbon dioxide? *BMJ* 1989;298(6685):1437-41.
11. Afene Ze E, Roche N, Atchou G, Carteret P, Huchon GJ. Respiratory symptoms and peak expiratory flow in survivors of the Nyos disaster. *Chest* 1996;110(5):1278-81.
12. Li WC, Ko SF, Tsai CC, Su CT, Haung CC, Tiao MM. Gastric hypothermic injury caused by accidental ingestion of dry ice: endoscopic features. *Gastrointest Endosc* 2004;59(6):737-8.