

Pre-hospital management in diving injuries and high altitude sickness

ัชชาวลย์ จันทะเพชร





FLT LT Chatchawal Chantaphet :MD

- MD –ThammasatMedical School
 - Thai board of Emergency Medicine
- Bhumibol Adulyadej Hospital



-Flight surgeon 27

แพทย์เวชศาสตร์การบิน

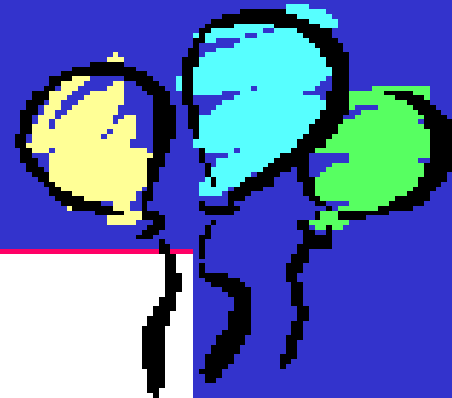
-แพทย์เวชศาสตร์ใต้น้ำ DMOC 4



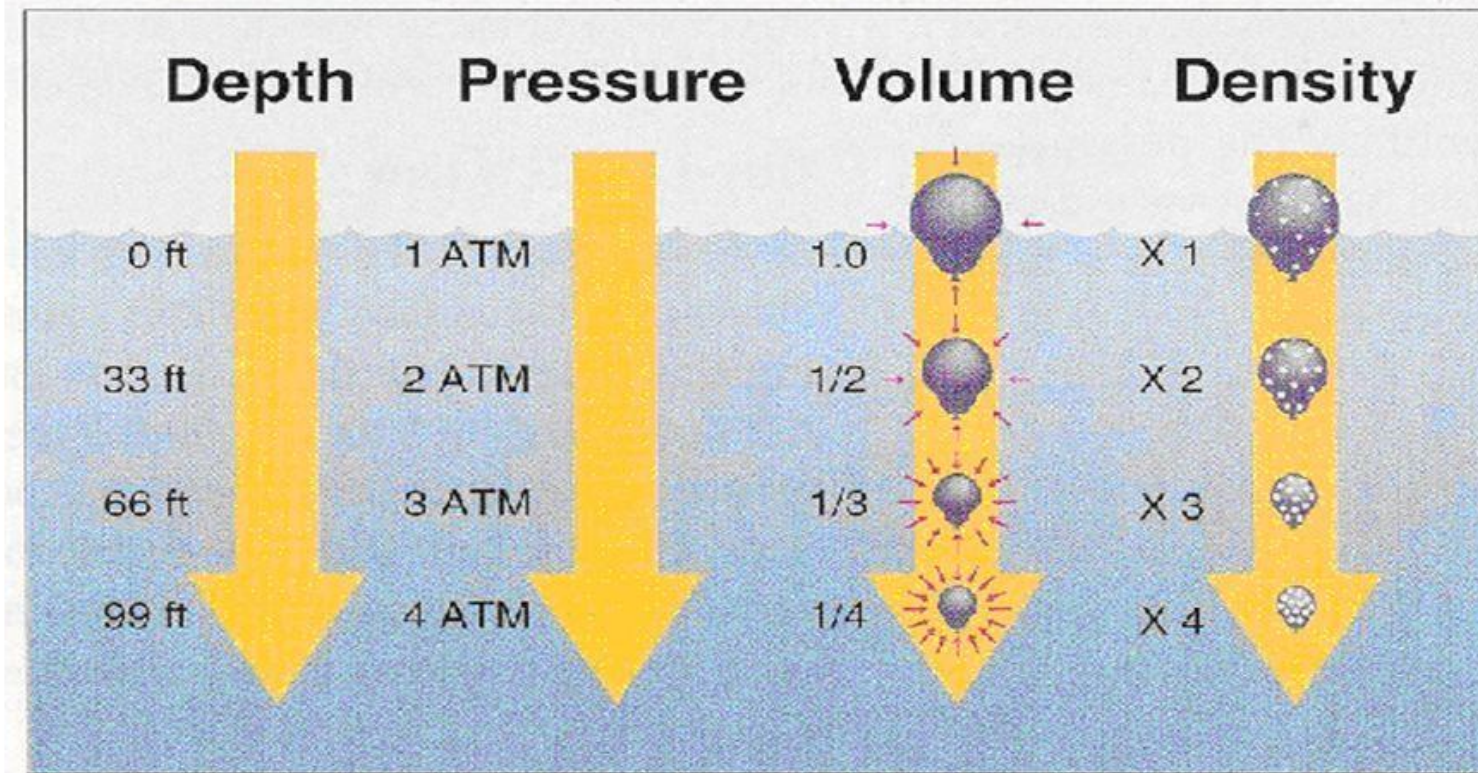
Boyles's Law

At constant *temperature*,
the volume is indirectly
proportional to the
absolute pressure

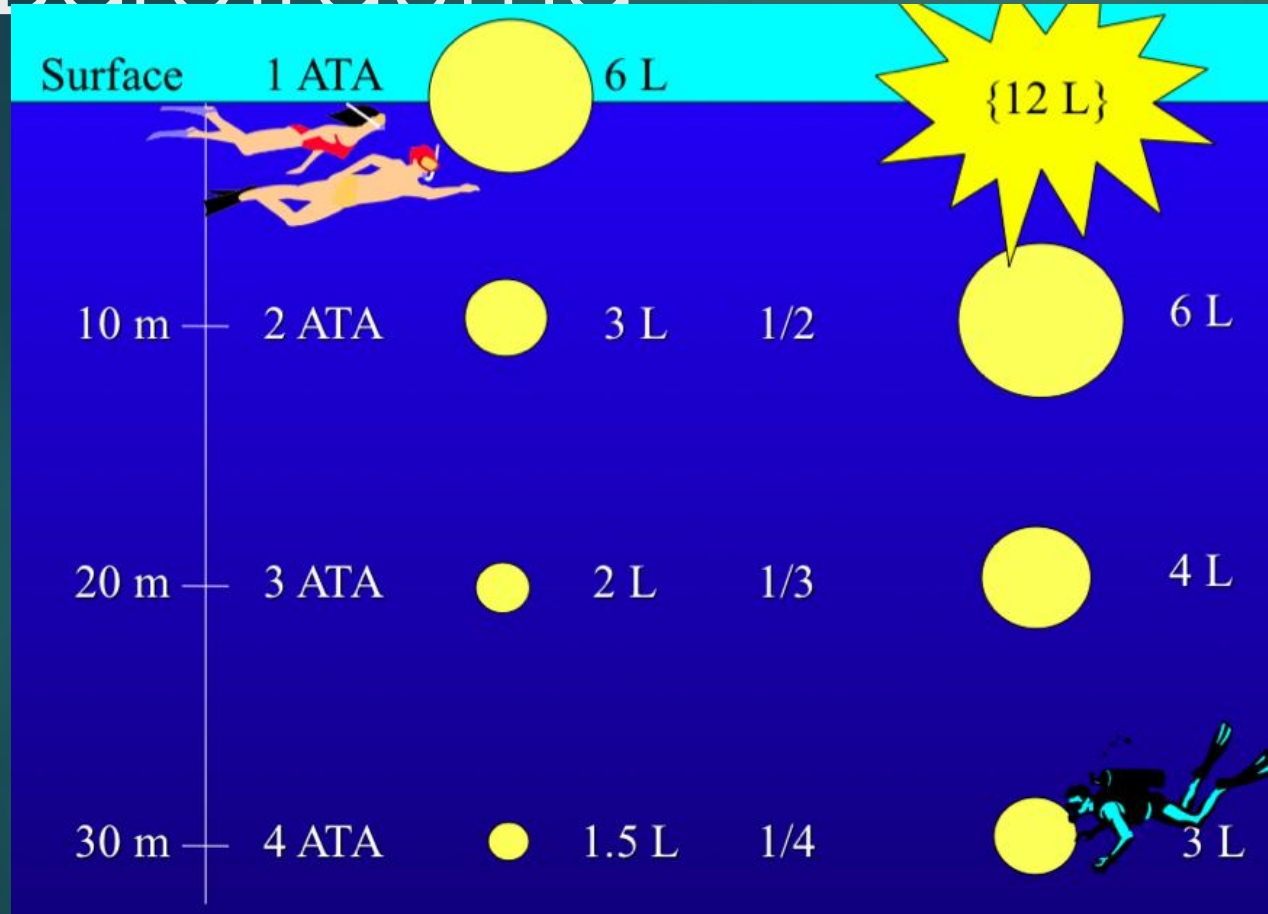
$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$



Depth, Pressure and air Density



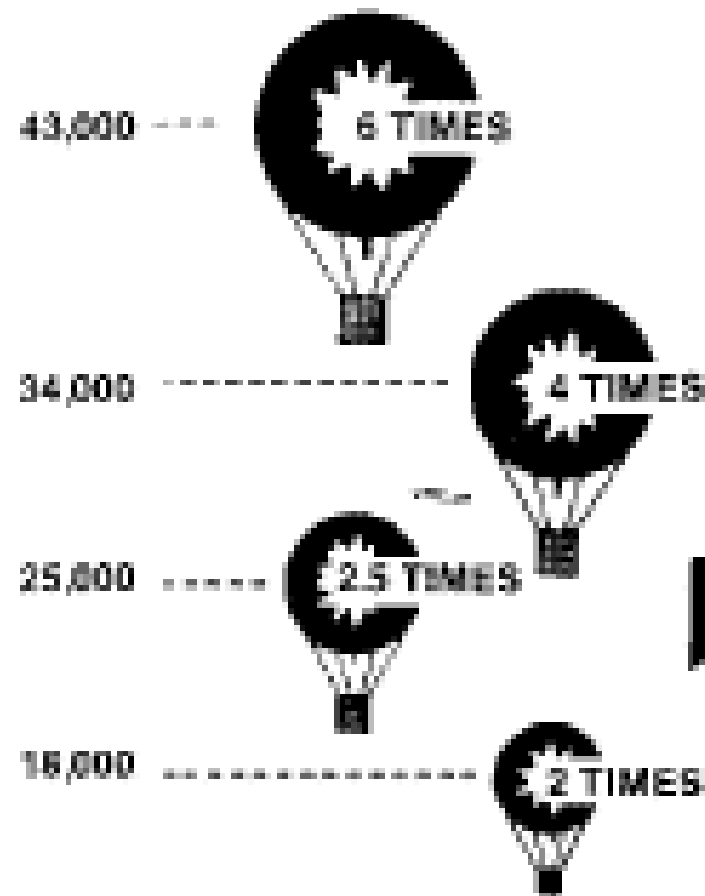
Mechanism of Pulmonary Barotrauma



Barotrauma

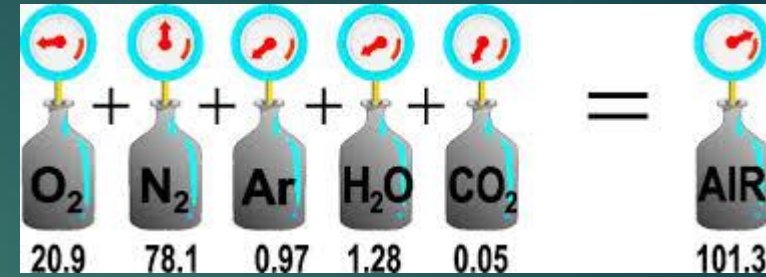
Boyle's Law:

At constant Temperature, Volume
varies inversely proportional to
Pressure



BOYLE'S LAW:

THE VOLUME OF A GAS IS
INVERSELY PROPORTIONAL
TO ITS PRESSURE, WITH
TEMPERATURE REMAINING
CONSTANT.



Dalton's law

Dalton's law explains the physiology of conditions such as oxygen toxicity and nitrogen narcosis. The law states that total pressure exerted by a mixture of gases is the sum of the partial pressures of the gases in the mix. Thus for fresh air:

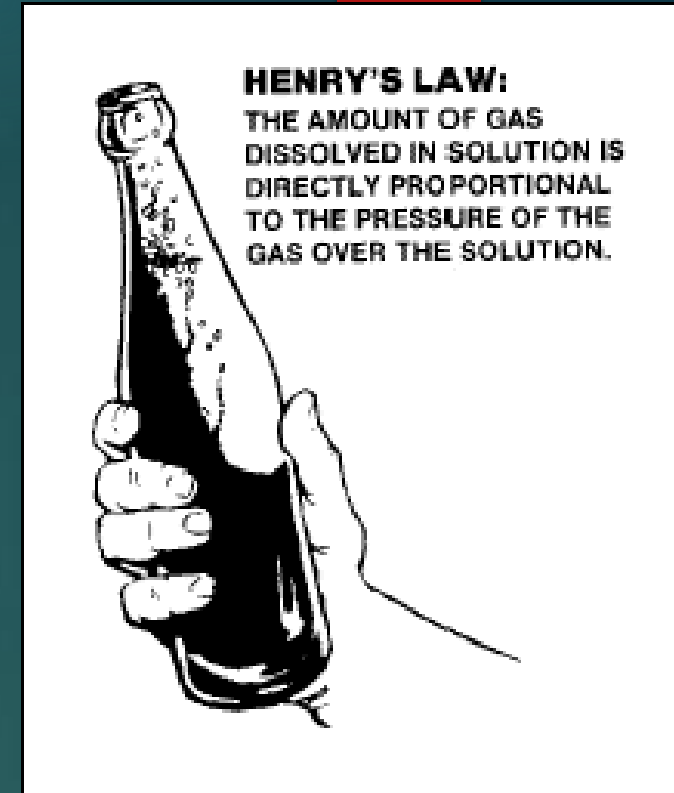
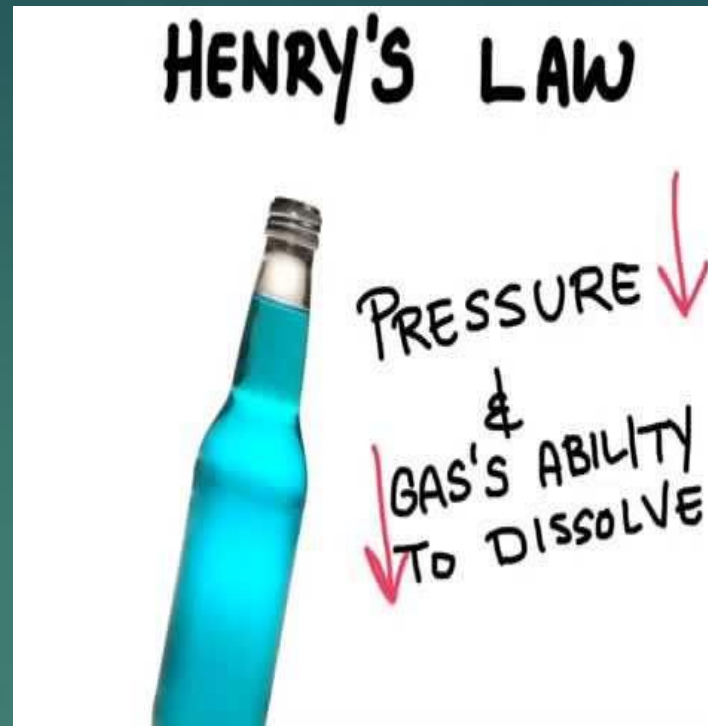
$$P_{\text{total}} = P_{\text{O}_2} + P_{\text{CO}_2} + P_{\text{N}_2}$$

Henry's law

- ▶ Henry's law is the foundation for decompression sickness ("the bends")

. The law states that at equilibrium, the concentration

- ▶ of a gas dissolved in a liquid is directly proportional to the
- ▶ partial pressure of the gas above the liquid (Figure 52.2). This
- ▶ is stated as:
- ▶ $P = kC$





Injury of descent: barotrauma of descent

-Middle ear barotrauma :Cold water caloric stimulation เกิดอาการต่างๆเช่น
Vertigo, Nausea

-Inner ear barotrauma

-External ear barotrauma

-Sinus barotrauma

-Mask squeeze

-Suit barotrauma

-Dental barotrauma

Injury at depth

-Nitrogen narcosis

-Oxygen toxicity

V: Visual changes (tunnel or blurry vision)

E: Ear ringing/tinnitus

N: Nausea

T: Tingling, twitching, or muscle spasms (usually facial muscles or lips)

I: Irritability, anxiety, agitation, confusion

D: Dyspnea, dizziness, fatigue, problems with coordination

C: Convulsions



Martini rule" โดยมีความหมายว่า ทุกๆความลึก 1 ATA (33 fsw) ที่มากกว่า 100 fsw ลงไป จะเท่ากับ การดื่มมาร์ตินี่ 1 แก้ว

Oxygen toxicity

อาการคัน หรือชาที่ผิวหนัง อาการคลื่นไส้ อาเจียน

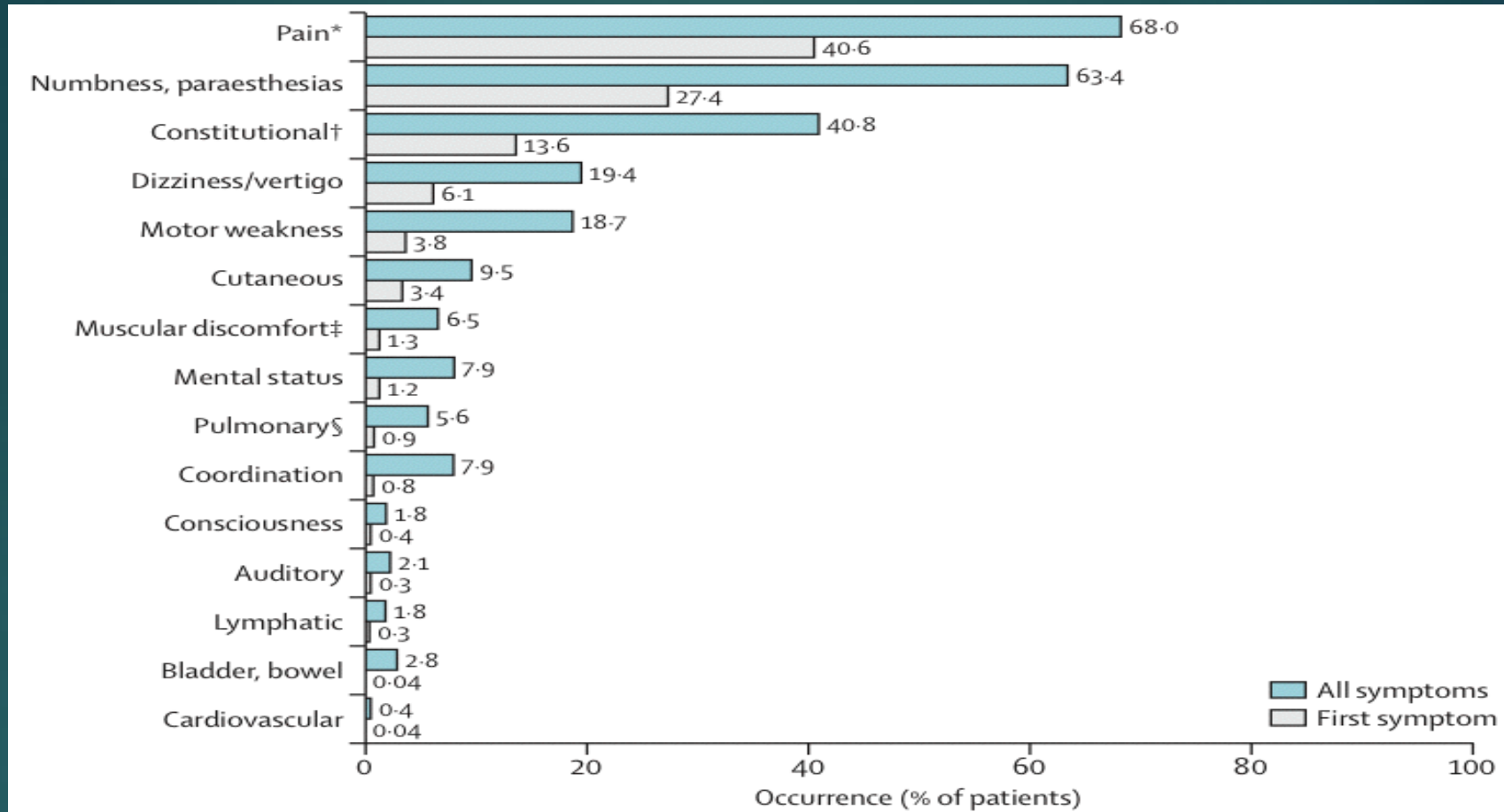
เวียนศีรษะ ปวดศีรษะ
VEN TID C

- ▶ V: Visual changes (tunnel or blurry vision)
- ▶ E: Ear ringing/tinnitus
- ▶ N: Nausea
- ▶ T: Tingling, twitching, or muscle spasms (usually facial muscles or lips)
- ▶ I: Irritability, anxiety, agitation, confusion
- ▶ D: Dyspnea, dizziness, fatigue, problems with coordination
- ▶ C: Convulsions

Injury of ascent: barotrauma of ascent

- ▶ Immersion pulmonary edema
- ▶ Reverse sinus or ear barotrauma (reverse squeeze)
- ▶ Alternobaric vertigo
- ▶ Gastrointestinal (GI) barotrauma
- ▶ Pulmonary barotrauma
- ▶ Decompression sickness: “the bends”
- ▶ Shallow water blackout

- 
- 
- ▶ –During the ascent or decompression phase of a dive,
 - ▶ inert gas, which has been dissolved under depth
 - ▶ pressure into tissues, comes out of solution under lower
 - ▶ pressure.
 - ▶ –This process can lead to inert gas in tissue becoming
 - ▶ supersaturated, resulting in bubble formation.
 - ▶ –Bubbles result of mechanical and biochemical effects



Vann R.D., Butler F.K., Mitchell S.J., Moon R.E. Decompression illness (2011) The Lancet, 377 ; 153-164.

- 
- 
- ▶ • AGE : During or within few minutes of surfacing
 - ▶ • DCS : Most occur within 24 hours except altitude exposure (Flying after
 - ▶ Diving)
 - ▶ – 42% within 1 hour
 - ▶ – 60% within 3 hours
 - ▶ – 83% within 8 hours
 - ▶ – 93% within 24 hours
 - ▶ U.S. Navy. U.S. Navy Diving Manual. 6th re. Washington D.C. : U.S. Government Printing Office, 200

- 
- 
- ▶ Traditional Classification of DCS
 - ▶ • Type I DCS
 - ▶ • Type II DCS
 - ▶ • AGE

- 
- 
- ▶ Arterial Gas Embolism
 - ▶ • Alveolar rupture with concomitant venous or capillary rupture
 - ▶ • Air traverses pulmonary vein to left heart
 - ▶ • Emboli are pumped out to the systemic circulation and distributed to all organs

- 
- 
- ▶ Arterial Gas Embolism
 - ▶ • CNS and Heart most susceptible to injury
 - ▶ • CVA sx most commonly caused by emboli to brain
 - ▶ • Emboli to coronary arteries may cause myocardial ischemia
 - ▶ or infarction

- 
- 
- ▶ Arterial Gas Embolism
 - ▶ • Ischemia of the organ involved
 - ▶ • Neurological symptoms most
 - ▶ • Usually present within the first ten minutes of a surface
 - ▶ interval

- 
- 
- ▶ Neurological Signs and Symptoms
 - ▶ – Mental deficits including unconsciousness
 - ▶ – Lack of coordination
 - ▶ – Cranial nerve deficits
 - ▶ – Weakness or paralysis
 - ▶ – Sensory abnormalities

- 
- 
- ▶ Onset of symptoms usually within 10 minutes
 - ▶ • 8.6% occurred during ascent
 - ▶ • 83.6% occurred in less than 5 minutes of surfacing
 - ▶ • 7.8% occurred between 5-10 minutes of surfacing
 - ▶ – No cases occurring in excess of 10 minutes
 - ▶ – Delayed AGE sx could be due to “paradoxical bubble” via
 - ▶ PFO/ASD/VSD

- 
- 
- ▶ Type I DCS
 - ▶ • Musculoskeletal joint pain
 - ▶ • Skin itching and marbling
 - ▶ • Lymphatic edema and tender lymph nodes

- 
- 
- ▶ Type I DCS
 - ▶ • Musculoskeletal joint pain
 - ▶ • If isolated, also known as “pain only” DCS
 - ▶ • Typically joint pain, usually outside the area covered by shorts and a T-shirt
 - ▶ • No signs of inflammation
 - ▶ • Usually dull, vague, deep, aching
 - ▶ • Peri-articular
 - ▶ • Unaffected by movement

- 
- 
- ▶ Type I DCS
 - ▶ • Musculoskeletal joint pain
 - ▶ • May get relief from inflated BP cuff (not a reliable)
 - ▶ • Common Locations
 - ▶ • --UE in bounce diving (down to one depth and back up)
 - ▶ • --LE in altitude DCS (possibly also caisson work and saturation diving)
 - ▶ • --Commonly affected joints include knees, shoulders, and elbows

Thoracic and Abdominal Pain

- ▶ Should be carefully evaluate as Type II DCS
- ▶ Localized to areas around spine or thoracic skeletal structures (Girdle Pain)
- ▶ Radiating or shooting quality; vague, visceral-type
- ▶ pain

Skin DCS

- ▶ Itching and mild urticaria--no treatment required
- ▶ Cutis Marmorata—pathognomonic
- ▶ Deep red or purple marbling or mottling
- ▶ May spread peripherally becoming erythematous
- ▶ Blanching with pressure suggests vascular etiology
- ▶ May be associated with itching



Cutaneous Manifestation of DCI



Cutaneous Manifestation of DCI



Lymphatic DCS

- ▶ Lymphatic DCS
- ▶ Usually presents as local edema with or without pain,
- ▶ can involve nodes and wider lymphatic obstruction
- ▶ Can get swelling of breast, abdominal areas, extremities
- ▶ Can be accompanied by skin changes--'orange peel'
- ▶ appearance

Type II DCS

- Pulmonary (“chokes”)
- Neurologic
- Vestibular (Inner Ear) (“Staggers”)

(Mild type) ในระยะแรกของ Type II DCS อาการจะไม่ชัดเจน นักดำน้ำอาจรู้สึกเพียงปวดเมื่อยตามตัว อ่อนเพลีย มากกว่าปกติเล็กน้อย นักดำน้ำจึงมักไม่ค่อยใส่ใจ ต่อมาเมื่อมีอาการเดินการไถ่ยืนหรือการขยับถ่ายไม่ปกติจึงแจ้งให้แพทย์ทราบ ใน Type II DCS จะแบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ Neurological, Inner ear (Staggers) และ Cardiopulmonary (Chokes) symptom

- 
- 
- ▶ Pulmonary DCS
 - ▶ • only 2% of cases; overwhelming load of venous, inert, gas bubbles in the pulmonary
 - ▶ circulation; animal studies have shown:
 - ▶ • ↑ Pulmonary arterial and right ventricular pressure rise
 - ▶ • ↓ Cardiac output and O2 sat
 - ▶ • Endothelial damage
 - ▶ • WBC activation
 - ▶ • ↑ blood vessel permeability
 - ▶ • Pulmonary edema

Signs and symptoms of Pulmonary DCS

- ▶ Substernal chest discomfort
- ▶ Cough
- ▶ Pain with inspiration or expiration
- ▶ May progress rapidly to cardiovascular collapse

Neurological DCS

- More common in recreational diving than military or commercial diving
 - ▶ Neurologic DCS tends to present rapidly
 - ▶ Spinal cord most affected (40-60% of cases), then brain, then peripheral nerves
 - ▶ Paresthesias and numbness are the most common

DCS type	Location	Symptoms	Other names/cautions	Incidence
Musculoskeletal – “the bends”	Major joints	Pain – boring, deep ache, may be sharp or throbbing	Pain only bends, joint or limb bends	Most common 70% of patients
Skin or cutaneous	Skin	Rash, pruritus, formication	Cutis marmorata, mottling or marbling of skin may indicate more severe decompression sickness	Relatively uncommon, usually benign
Pulmonary or “the chokes”	Substernal on inhalation	Non-productive cough, dyspnea, cyanosis	Represents massive pulmonary gas embolism	Unusual but serious
Neurological	Any level of central nervous system; typically spinal cord (low thoracic/lumbar)	Random and may be diffuse: paresis, paraplegia, paresthesia, dysesthesia, bowel or bladder dysfunction	Decompression sickness of the brain produces symptoms that may be indistinguishable from arterial gas embolism	Found in 50–60% of scuba diving casualties [5]
Inner ear or vestibular, “the staggers”	Inner ear	Vertigo, dizziness, nausea, vomiting, nystagmus	High incidence of residual inner ear damage as opposed to inner ear barotrauma	Usually seen in saturation divers or very deep heliox dives
Vasomotor	Vascular system	Hypotension unresponsive to fluids	Decompression shock	Rare, rapidly life threatening, most do not survive
Dysbaric osteonecrosis	Major joints	Avascular or aseptic necrosis of bone	Long-term sequela to inadequate decompression	<1% to more than 80% based on age and type of diving performed in lifetime
Dysbaric retinopathy	Eye	Variable	Suspected to be related to small bubble microembolization	Uncommon

Transport and destination hospital considerations

Prehospital care

- oxygen at

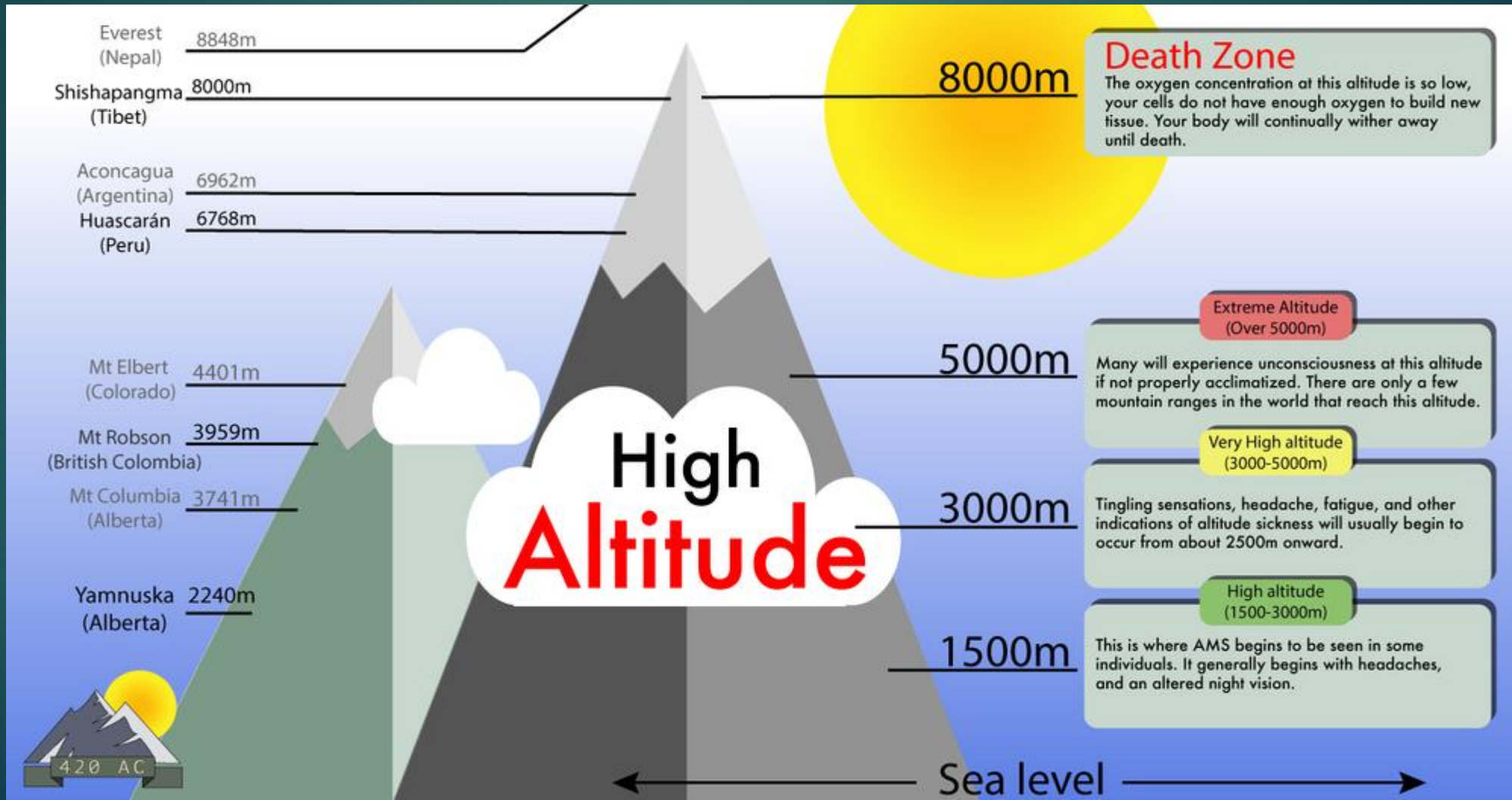
flow rate of at least 10 L/min by non-rebreather mask, or appropriate airway management in patients suffering near drowning.

- Maintenance IV : important to support capillary perfusion and assist with elimination of bubbles from the arteriolar-capillary level



-Intravenous isotonic fluids should be administered to maintain urine output of 1–2 cc/kg/hour

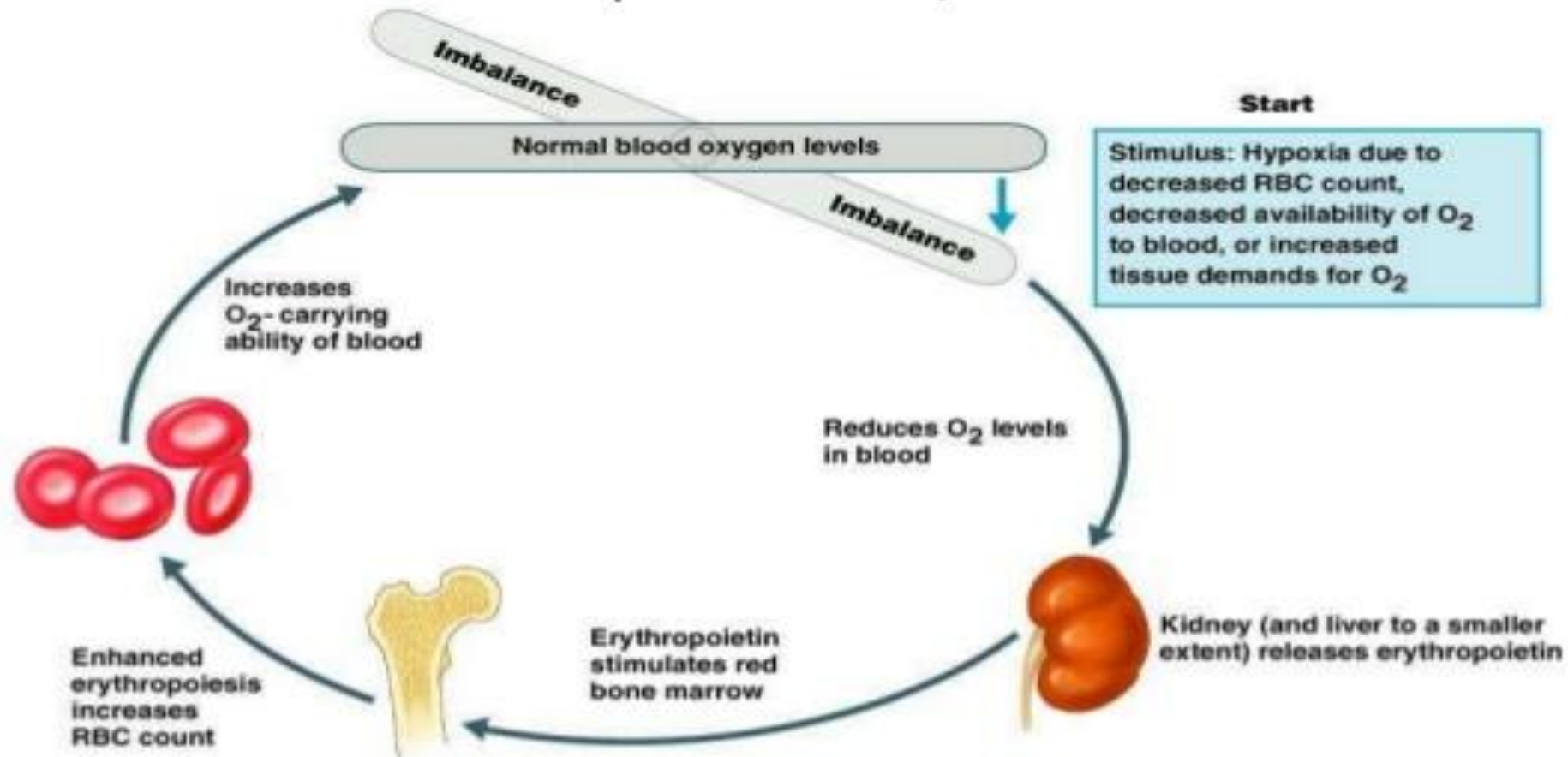
- **High-altitude illness** เป็นกลุ่มโรคที่เกิดจากการที่ร่างกายไม่สามารถปรับตัวได้ในสภาพที่อยู่ในพื้นที่สูงเพราะในสภาพแวดล้อมดังกล่าวจะมีออกซิเจนอยู่น้อย ภาวะแบบนี้จึงเป็นภาวะคุกคามต่อชีวิตได้ถ้าไม่ตระหนักถึง และให้การรักษาไม่ทันท่วงที ระดับความสูงเหนือระดับน้ำทะเลเพียงแค่ 1,500 เมตร ก็ทำให้ร่างกายเกิดการเปลี่ยนแปลง

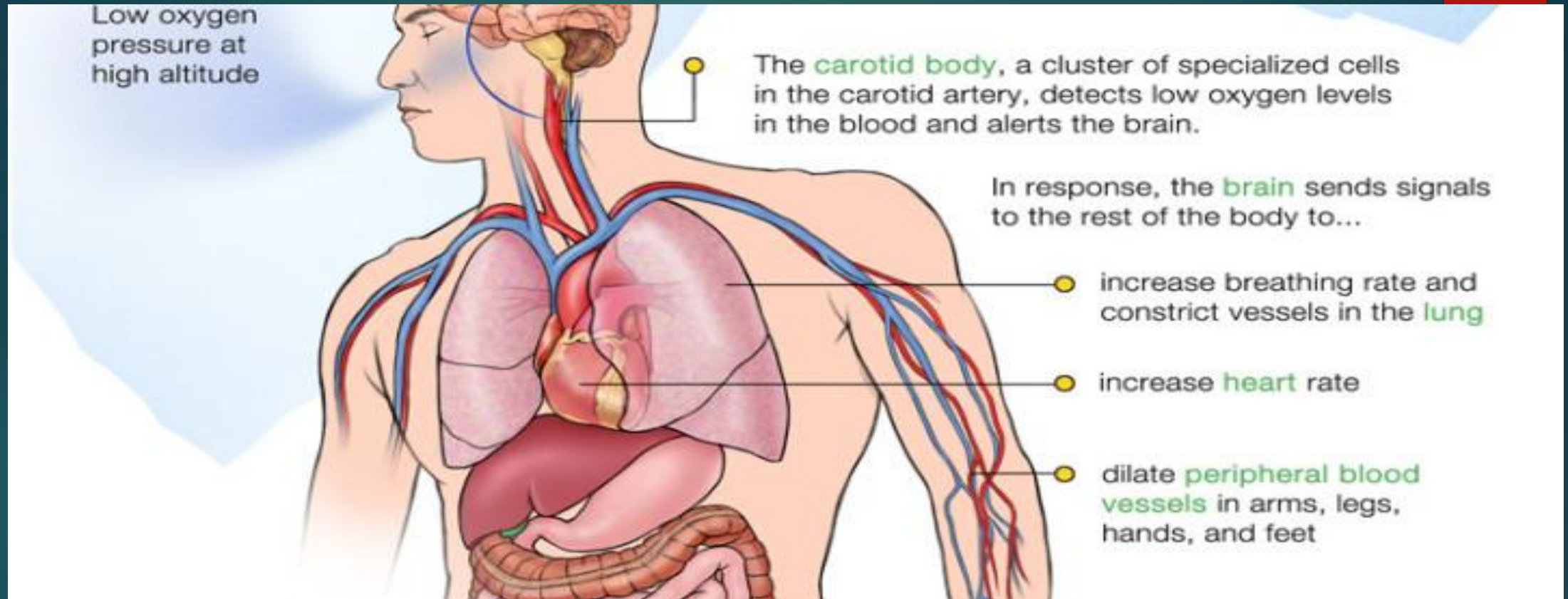


- ▶ ตารางแสดงประเภทระดับความสูงเหนือระดับน้ำทะเล
 - ▶ High altitude 1,500 – 3,000 เมตร 4,921 – 11,483 ฟุต
 - ▶ Very High altitude 3,500 – 5,500 เมตร 11,483 – 18,045 ฟุต
 - ▶ Extreme High Altitude >5,500 เมตร > 18,045 ฟุต
-
- ▶ ระดับความสูงแต่ละระดับร่างกายจะมีการปรับสมดุลเรียกว่า Altitude acclimatization จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาหลายอย่างตั้งแต่ระยะเวลาภายใน 2 ชั่วโมงที่ขึ้นสู่ที่สูง

Acclimatization

- Hematologic Effects:
 - Increase red cell production/Hb





ภายใน 24-48 ชั่วโมง ร่างกายเกิดภาวะ alkalosis ไตจะ
เริ่มขับ Bicarbonate (HCO_3^-) ในปัสสาวะ
เรียกว่า Bicarbonate Diuresis เพื่อรักษาสมดุล
กรดต่างในร่างกายให้ปกติ

- 
- **Dehydration** จากการสูญเสียน้ำจากทางผิวหนังและการหายใจ เนื่องจากความชื้นที่น้อยลงในพื้นที่สูง ทำให้อากาศแห้ง ร่างกายจะเสียน้ำโดยไม่รู้ตัว และหากนักท่องเที่ยวไม่ระลึกรถึงไม่ดื่มน้ำอย่างเพียงพอก็จะอันตรายได้ ร่างกายจะปรับสภาพโดยการลดการขับน้ำและ โซเดียม เกิดภาวะ **fluid leak** จาก **capillary** สู่เนื้อเยื่อต่างๆ ทะให้บวมน้ำ (**Edema**) ได้ โดยเฉพาะที่หน้า มือ เท้า และมักเกิดกับผู้หญิงมากกว่าผู้ชาย อาการบวม (**High altitude edema**) จะแย่ลงเมื่อขึ้นที่สูงเพิ่มขึ้นและ อาการจะดีขึ้นเมื่อลงสู่พื้นที่ที่ต่ำกว่า

▶ Periodic breathing

- ▶ เจอได้บ่อย เมื่อร่างกายควบคุมระดับ O_2 , CO_2 ร่างกายจะลดอัตราการหายใจ จนถึงหยุดหายใจไปช่วงสั้นๆ 3-5 วินาที จนระดับ $PaCO_2$ ถูกสร้างขึ้นอีกครั้ง จนกระตุ้นการหายใจ

-ระบบไหลเวียนโลหิต จะมีการเพิ่มขึ้นตาม Sympathetic activity ทำให้ความดันโลหิตสูงขึ้นเล็กน้อย

- 
- Acute mountain Sickness (AMS) มักเกิดเมื่อไปที่สูงมากกว่า 2,500 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล มักเกิดอาการ ปวดศีรษะ (throbbing,bitemporal) เหนื่อยเวลาออกแรง คลื่นไส้อาเจียน บางครั้งจะมีอาการเหมือนเมาเหล้า นอนไม่หลับมักเป็นตอนกลางคืน โดยเฉพาะคืนแรก มักเป็นไม่มาก ภายใน 1-2 วัน หลังถึงที่ระดับความสูงนั้น และปรับสภาพได้ 3-5 วัน ที่ระดับความสูงเดิม ตรวจร่างกายมักไม่มีอะไรที่เด่นชัด ซิฟอาจช้าหรือเร็ว ความดันโลหิตอาจปกติหรือ postural hypotention ฟังปอดอาจได้ยินเสียง rales และ O₂ saturation ต่ำได้ แต่ถ้าตรวจตาโดย ophthalmoscope จะพบ venous dilatation

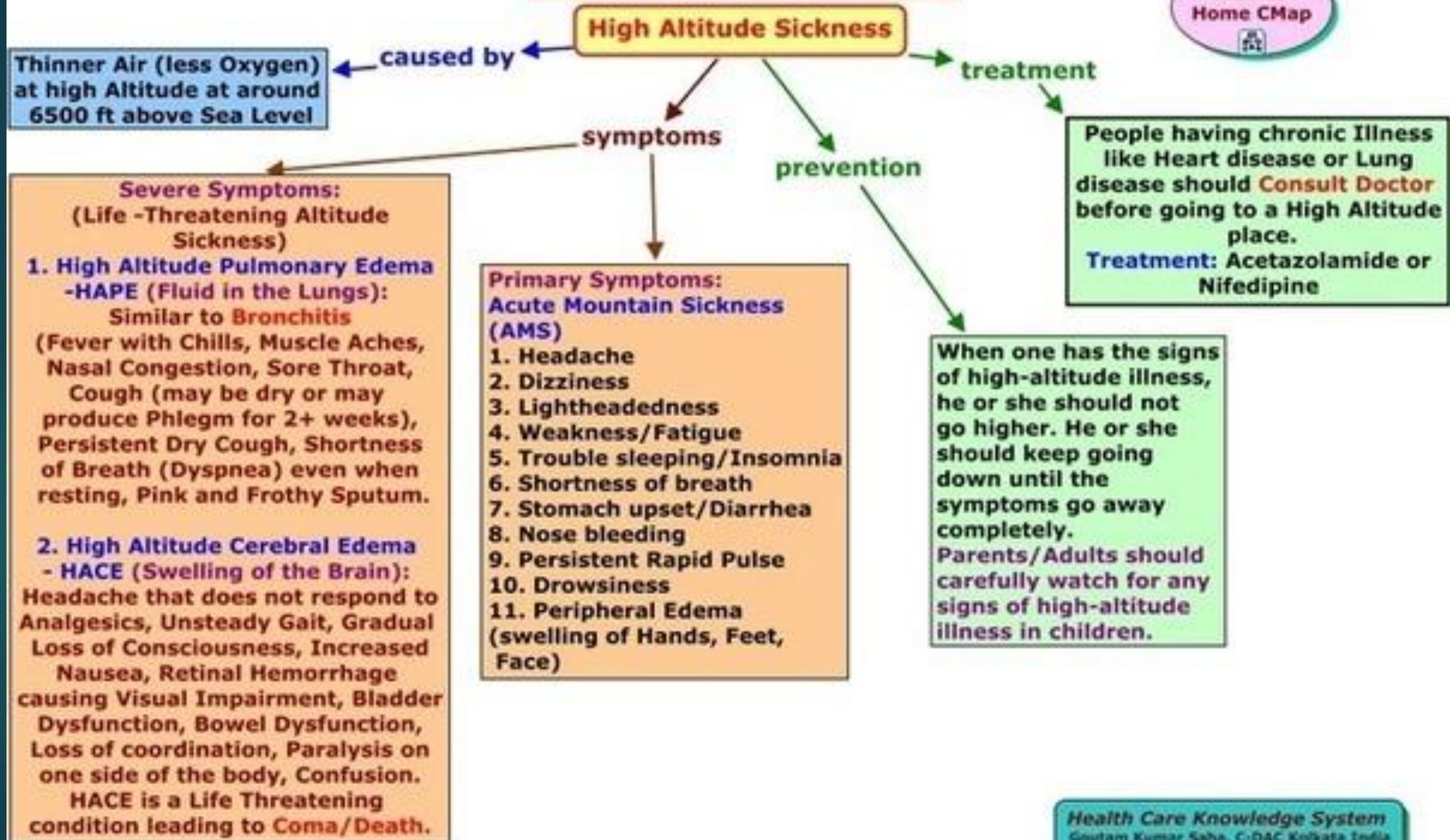
- ▶ .High altitude cerebral edema (HACE) (life threatening)
- ▶ น้ำในหลอดเลือดฝอยจะแพร่ออกมาเข้าสู่เนื้อเยื่อ (capillary leakage) เมื่อน้ำคั่งในเนื้อเยื่อสมองที่เป็นระบบปิด (close space) ก็จะเกิดภาวะนี้
- ▶ วัดแรงดันน้ำไขสันหลังจะมีค่าสูงถึง 300 มม.ปรอท หรือเมื่อทำ CT brain ก็จะพบ cerebral edema หรือเมื่อทำการชันสูตรศพผู้ที่มีภาวะนี้ ก็พบเลือดออกในบริเวณที่สมองบวม (Petechial hemorrhage) สามารถแบ่ง HACE เป็น 2 แบบดังนี้
- ▶ 2.1 Reversible HACE เป็นการเกิดพยาธิสภาพแบบ Vasogenic edema
- ▶ 2.2 End stage HACE เป็นการเกิดพยาธิสภาพแบบ gray matter (cytotoxic) edema เมื่อเกิด cytotoxic edema เนื้อเยื่อสมองจะแยกออกจากหลอดเลือดฝอยในสมองทำให้การส่งออกซิเจนและสารอาหารไปเซลล์สมองทำไม่ได้ ทำให้เกิดการตายของเซลล์สมอง การเกิดความดันในสมองเพิ่มสูงทำให้มีภาวะ third, sixth nerve palsy ได้ด้วย

- ▶ อาการมักจะมาด้วยเดินเซ (ataxic gait) อ่อนเพลียอย่างมาก คลื่นไส้ อาเจียน และระดับความรู้สึกตัวเปลี่ยน (alteration of consciousness ,confusion,drowsiness,coma) ภาวะที่อาจเจอ ร่วมได้ไม่บ่อยได้แก่เห็นภาพหลอน (hallucination) กล้ามเนื้ออ่อนแรง(paralysis) หรือ ชักเกร็ง(seizures) ความรุนแรงของโรคอาจเป็นมาจาก AMS สู่ HACE ได้เร็วภายใน 12 ชั่วโมง แต่โดยทั่วไปเกิดหลัง AMS ภายใน 1-3 วัน

▶ High altitude pulmonary edema (HAPE)

▶ เกิดภาวะนี้จาก 3 ปัจจัยคือ excessive pulmonary hypertension, high- protein permeability leak persistent hypoxic exposure ภาวะ pulmonary hypertension เกิดจาก Hypoxic vasoconstriction ในเนื้อเยื่อปอดทำให้ความดันในปอดเพิ่มขึ้นและเกิดน้ำแพร่ออกจากหลอดเลือดฝอยในปอด (capillary leakage) ทำให้น้ำท่วมปอดตามมา อาการมักเกิดหลังจากที่ขึ้นสู่พื้นที่สูงเกิน 2,500 เมตร ใน 2-4 วัน มักพบบ่อยโดยเฉพาะในคืนที่สอง อาการจะเริ่มตั้งแต่อ่อนเพลีย ไม่มีแรง ต้องหยุดพักบ่อยขึ้น เหนื่อยเวลาออกแรง มีไอแห้งๆ มีภาวะขาดออกซิเจน เล็บเขียว ริมฝีปากเขียว ในรายที่เป็นรุนแรงจะมีภาวะการหายใจล้มเหลว

Zoom- High Altitude Sickness



▶ การรักษา

▶ 1.AMS -หยุดที่ระดับความสูงเมื่อสงสัยว่ามีอาการ อย่างน้อย 4-5 วัน เพื่อปรับสมดุลร่างกาย

▶ -Acetazolamide 250 mg PO increase bicarbonate diuresis

▶ -antiemesis

▶ -Dexamethasone 4-8 mg PO,IM,IV ไม่ทราบกลไกที่ชัดเจน

▶ -moderate ,severe AMS การนำลงมาระดับที่ต่ำกว่าจะช่วยรักษาอาการได้ โดยต้องลงมาต่ำกว่า 500-1,000 เมตรจากระดับเดิม

▶ -Hyperbaric chamber for Oxygen therapy

▶ -analgesic drugs เช่น NSAID,paracetamal,Aspirin

- ▶ 2.HACE- immediately descent
- ▶ -Treatment with dexamethasone (4–8 mg IV, IM, or
- ▶ PO) followed by 4 mg every 4–6 hours
- ▶ -oxygen therapy via mask or nasal canula at 4 L/min keep
- ▶ oxygen saturation >90%
- ▶ - comatose, rescuers should proceed to advanced airway management. การทำ Hyperventilation ต้องทำด้วยความระวังเพราะทำให้เกิด alkalosis
- ▶ - Furosemide สามารถลด fluid overload in the cranial ได้
- ▶ -hypertonic saline และ mannitol สามารถลด ICPได้ แต่ไม่มีหลักฐานแน่ชัด

▶ 3.HAPE

- ▶ - การรักษาที่ดีคือ รีบ early descent of only 500–1,000 เมตร หลังพัก 2–3 วันในระดับความสูงเดิม ผู้ป่วยสามารถขึ้นสู่ที่สูงอีกครั้งได้
- ▶ -Supplemental high-flow oxygen (4 L/min or more) ให้มากกว่า 24 ชั่วโมง
- ▶ high-flow oxygen is life saving.
- ▶ - diuretics: furosemide (80 mg every 12 hours) may
- ▶ -Phosphodiesterase-5 inhibitors (e.g. sildenafil) ช่วยป้องกัน HAPE ได้
แต่ยังไม่ได้รับการรับรอง

- 
- 
- ▶ Calcium channel blockers such : nifedipine (30 mg slow release every 12–24 hours) ช่วยลด pulmonary vascular resistance และเพิ่ม arterial oxygenation
 - ▶ - keep oxygen saturation >90% เตรียมพร้อมสำหรับการใส่ท่อช่วยหายใจ

- 
- 
- ▶ สำหรับแพทย์อำนวยความสะดวกเตรียมความพร้อม ของระบบการแพทย์ฉุกเฉิน ไม่ว่า ทีม EMS ทีม resuscitation และทีมรักษาต่อในโรงพยาบาล การรักษาด้วยHyperbaric chamber ล้วนมีความสำคัญ