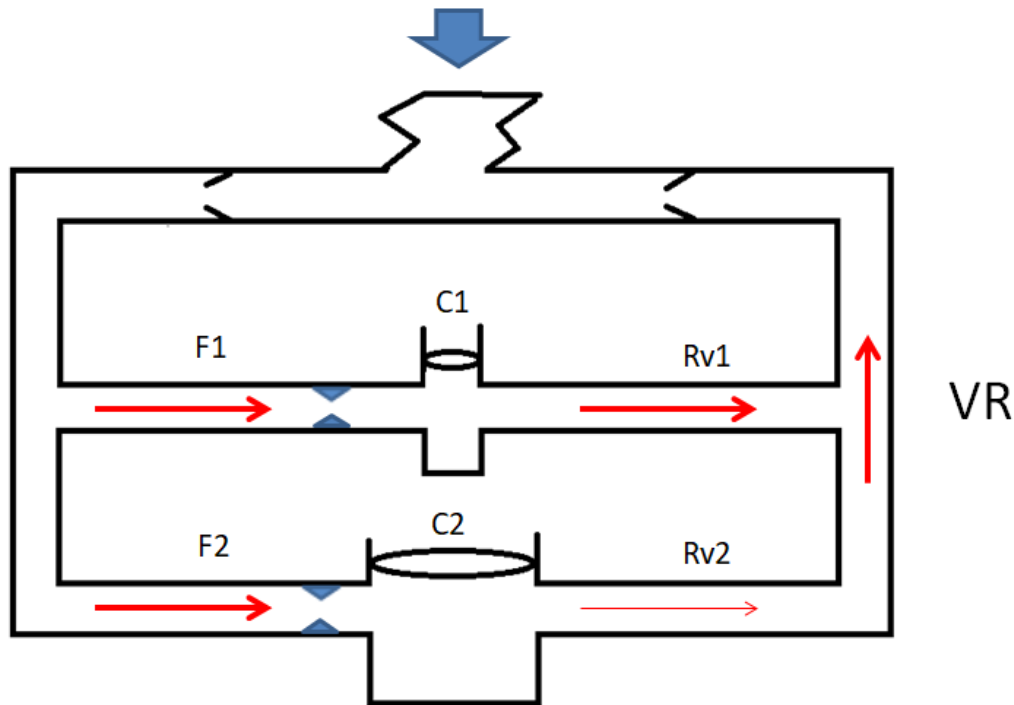


Blood flow distribution



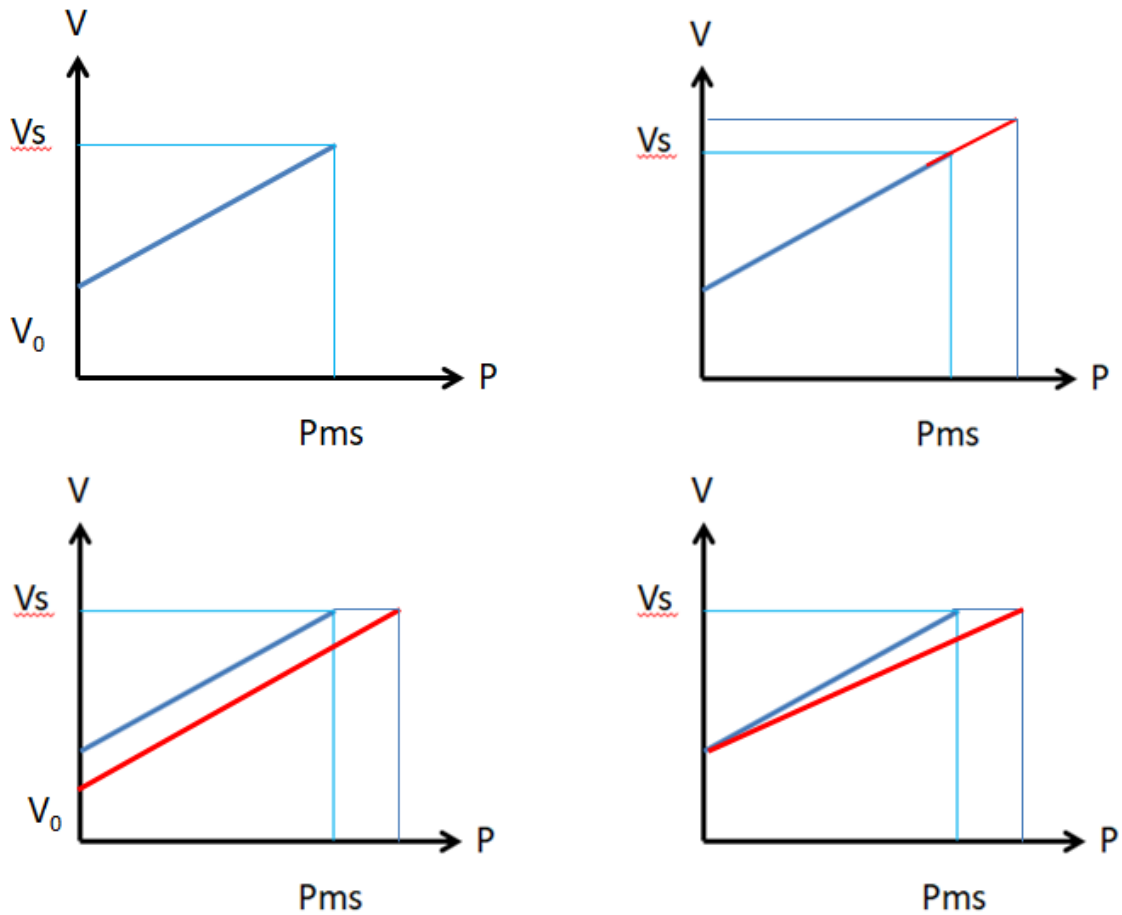
คือ การกระจายของ blood flow ว่าไปเลี้ยงorgan ไหนมากน้อยเท่าไร , เมื่อเกิดภาวะช็อก ร่างกายจะปรับตัวให้เลือดไปเลี้ยงในอวัยวะที่สำคัญ อวัยวะที่ไม่สำคัญ เลือดก็จะไปเลี้ยงน้อย

จากรูป normal blood flow มี fraction 1 และ 2 แยกกัน, F1 มี organ ที่มี compliance ต่ำ รองรับปริมาณเลือดได้น้อย และเลือดก็ไหลผ่านได้เร็ว เป็น fast time constant ส่วน F2 มี organ ที่มี compliance สูง รองรับปริมาณเลือดได้มาก เลือดไหลผ่านได้ช้า เป็น slow time constant

ในภาวะปกติที่มีเลือดไหลผ่านเท่าๆกัน, F1 มีเลือดไหลกลับมามาก, F2 กลับมาน้อย ได้เป็น normal venous return, เมื่อมีการ shift เลือดไหลผ่านส่วนที่เป็น slow time constant เยอะ (slow fraction) เลือดจะไปกองที่ส่วนที่มี compliance สูงได้เยอะ เลือดก็จะไหลกลับมาได้น้อย venous return จึงลดลง

ในทางกลับกัน ถ้าเลือดไปในส่วนของ fast time constant มากขึ้น, เลือดไป organ ที่มี compliance ต่ำ ค้างอยู่ได้ไม่นาน ไหลกลับมาเป็น venous return, venous return จึงเพิ่มขึ้น

Regulation of Mean systemic pressure

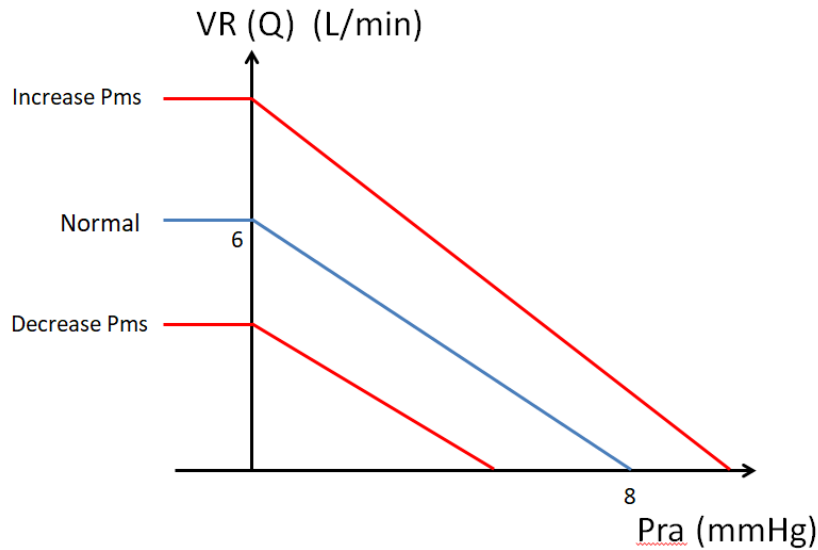


ค่าที่กำหนด mean systemic pressure มีหลายตัวแปรตั้งที่กล่าวมา ในภาวะช็อกเราต้องการเพิ่มค่า mean systemic pressure เพื่อให้ cardiac output สูงขึ้น การเปลี่ยนแปลงของกราฟนี้จึงเป็นไปได้ 3 แบบ คือ

แกน x คือ pressure (mean systemic pressure), แกน y คือ volume (stress volume) V_0 คือ unstress volume คือ volume ที่มีอยู่ในร่างกายที่ไม่ก่อให้เกิด pressure จนถึงระดับหนึ่งจนเกิด pressure ขึ้นมาได้ ปริมาตรนั้นเรียกว่า stress volume และ pressure ที่เกิดจาก stress volume คือ mean systemic pressure

- 1) เนื่องจากเราต้องการเพิ่ม mean systemic pressure การจะทำให้กราฟเลื่อนไปทางแกน Y มากขึ้น คือการเพิ่ม volume, เมื่อ stress volume เพิ่ม mean systemic pressure จะเพิ่มตาม
- 2) ทำให้ unstress volume ลดลง กราฟจะเลื่อนไปทางขวา วิธีที่จะลด unstress volume ลดลงคือการทำท่า Trendelenburg position ในสมัยก่อนจะทำการในคนไข้ที่มีภาวะ shock เป็นการทำให้เลือดใน peripheral เข้ามาใน central venous system ทำให้ลด unstress volume เพราะฉะนั้น total volume ไม่เปลี่ยนแปลงแต่ unstress volume ลดลง
- 3) เปลี่ยน slope ของกราฟ slope คือ compliance เมื่อ compliance ลดลง mean systemic pressure จะเพิ่มขึ้น การทำให้ compliance ลดลง ก็คือการทำให้เกิด vasoconstriction

Regulation of venous return



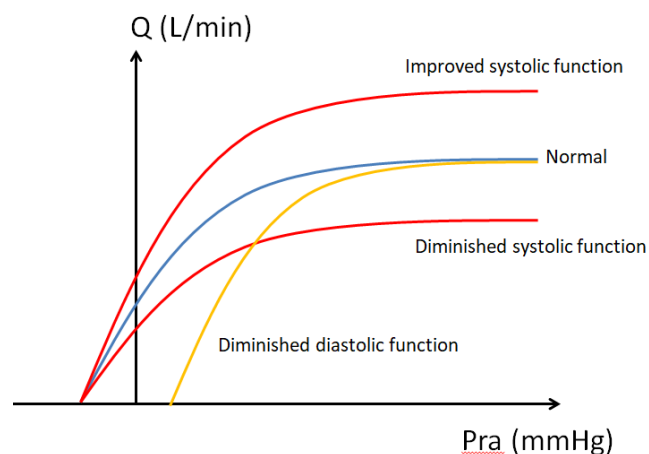
mean systemic pressure มีผลกับ venous return เนื่องจาก Pms เป็นแรงดันดันทางที่จะทำให้เลือดกลับเข้าสู่หัวใจ เป็น venous return

จากกราฟ แกน x คือ right atrium pressure แกน y คือ venous return หรือก็คือ cardiac output, ค่า mean systemic pressure ของคนปกติมีค่าประมาณ 8 mmHg, ถ้า right atrium pressure มีค่าเท่ากับ 8 mmHg ก็จะไม่เกิดการไหล ไม่มี pressure gradient, venous return = 0

เมื่อ Pra มีค่าเท่ากับ 0, VR(CO) 6 L/min ซึ่งเป็นค่าปกติ

ดังนั้น ถ้าต้องการจะเพิ่ม VR ให้มากขึ้น ต้องเพิ่ม Pms, ถ้า Pms ลดลง ค่า VR(CO) จะลดลงตามมา

Left ventricular performance

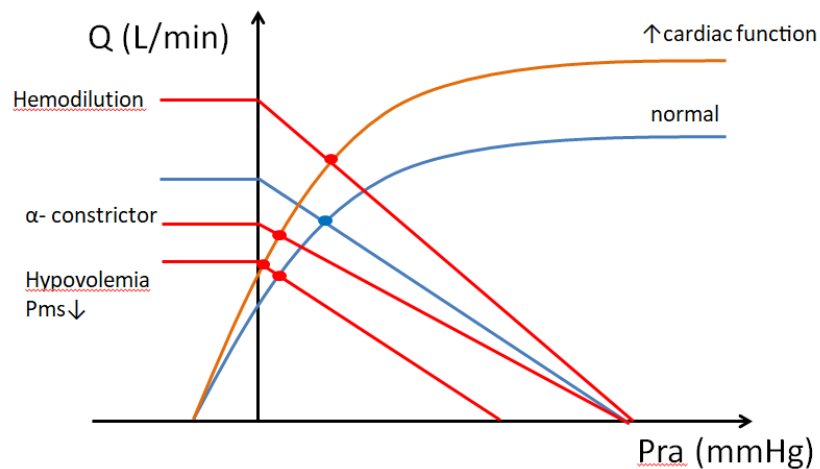


เมื่อหัวใจบีบตัวได้ดีขึ้น (Improved systolic function), curve ของ cardiac function จะ shift ขึ้นบน, เมื่อหัวใจบีบตัวน้อยลง (Diminished systolic function), curve ของ cardiac function จะ shift ลงล่าง, ถ้ากราฟ shift ไปทางด้านขวา แปลว่ามี diastolic dysfunction

Classification of Shock

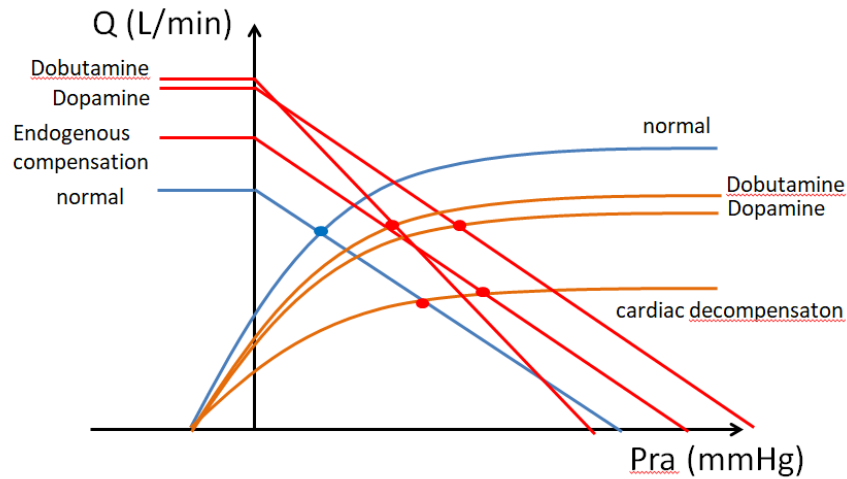
- Hypovolemic shock
 - Hemorrhagic, non-hemorrhagic
- Cardiogenic shock
 - Myocardial failure, Valve failure, Conduction, Temponade
- Distributive shock
 - Sepsis, Adrenal insufficiency, Anaphylaxis
- Obstructive shock
 - Temponade, increase intrathoracic pressure, IVC obstruction, pulmonary embolism
- Neurogenic shock
 - Anatomic, Induced
- Miscellaneous
 - Toxin, Metabolic
- Mixed

Hypovolemic shock



ในคนไข้ที่มี hypovolemic shock เมื่อภาวะ hypovolemia, stress volume ลดลง, mean systemic pressure ลดลง, venous return ลดลง, cardiac output ลดลง เมื่อร่างกายมีการ compensate โดยการกระตุ้น endogenous catecholamine → heart rate สูงขึ้น, มี vasoconstriction แต่ cardiac output ไม่สามารถเพิ่มขึ้นได้ การรักษาผู้ป่วยในภาวะ hypovolemic shock จึงต้องให้ volume ที่เพียงพอ เพื่อเพิ่ม stress volume, เพิ่ม mean systemic pressure สรุป ในภาวะ hypovolemic shock จะมีค่า cardiac output ลดลง, right atrial pressure ลดลง, pulmonary capillary wedge pressure ลดลง, SVR สูง

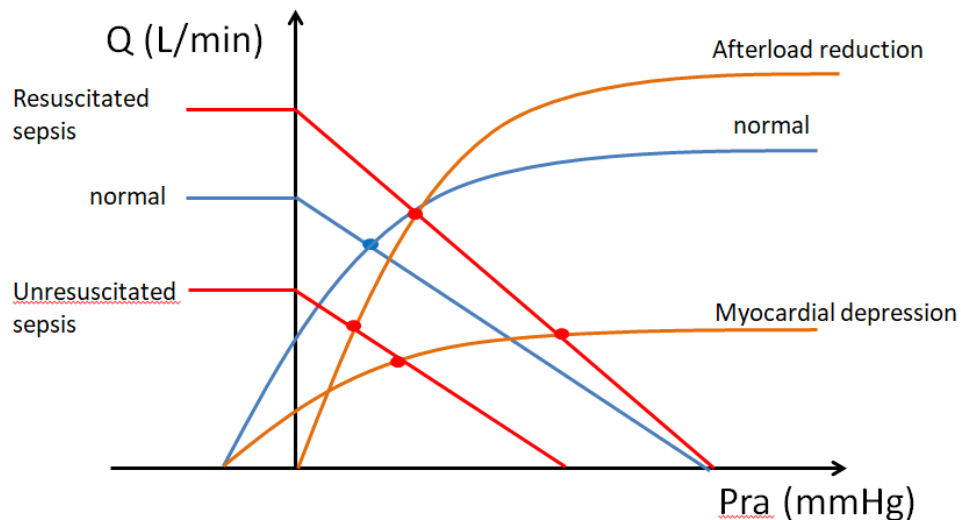
Cardiogenic shock



เกิดจากมี cardiac decompensation, จากนั้นมีเลือดคั่งในหัวใจ right atrium pressure สูงขึ้น venous return สูงขึ้นแต่ cardiac output ไม่เพิ่มมาก การรักษา 2 วิธี

- 1) Dopamine มีผลทำให้หัวใจบีบตัวมากขึ้น และมีผล vasoconstriction, cardiac output จึงสูงขึ้น แต่จะมีค่า right atrium pressure สูงด้วย โอกาสเกิด pulmonary edema จะสูงขึ้น
- 2) Dobutamine มีผลทำให้หัวใจบีบตัวดีขึ้น ส่วนผลต่อ venous return มีผล vasodilatation ทำให้ลด resistance ต่อ venous return ดังนั้นค่า right atrium pressure จะน้อยกว่าการให้ dopamine

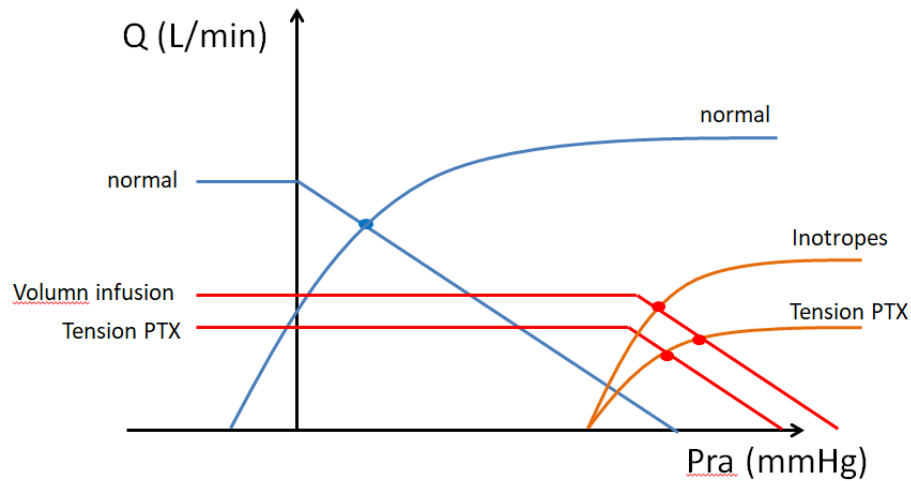
Septic shock



เกิดจาก relative hypovolemia, microvascular leakage, myocardial suppression เมื่อมี microvascular leakage, afterload จึงลดลง หัวใจจึงบีบตัวได้ดีขึ้น แต่เนื่องจากมี relative hypovolemia ด้วยจึงมี venous return ลดลง cardiac output ลดลง เมื่อมีการ resuscitate อย่างเพียงพอ venous return จะสูงขึ้น cardiac output สูงขึ้นได้ แต่ถ้าปล่อยให้เกิด late septic shock จะเกิด myocardial suppression

สรุปใน early septic shock จะมีค่า right atrial pressure ไม่เปลี่ยนแปลง, cardiac output สูงขึ้น, pulmonary capillary wedge pressure ลดลง, SVR ลดลง ส่วนใน late septic shock จะมีค่า right atrial pressure สูง, cardiac output ลดลง, pulmonary capillary wedge pressure สูง, SVR สูง

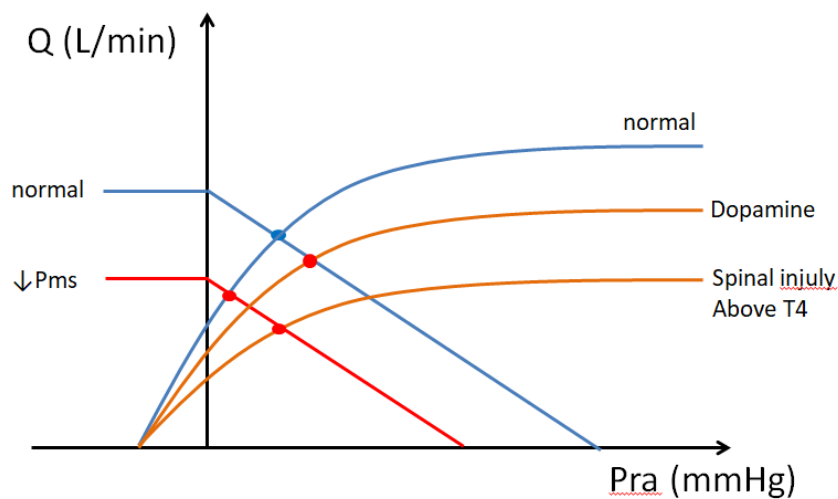
Obstructive shock



ยกตัวอย่างใน tension pneumothorax, มี intrathoracic pressure สูง, right atrium pressure จึงสูงขึ้นมาก, venous return ลดลง cardiac output ต่ำ การให้ inotropes หรือ volumn infusion ก็ไม่สามารถเพิ่ม cardiac output ได้ การรักษาต้องลด intrathoracic pressure ให้อยู่ในภาวะปกติ

ในภาวะ obstructive shock จะมีค่า cardiac output ลดลง, right atrial pressure สูง, pulmonary capillary wedge pressure ต่ำหรือสูง, SVR สูง

Neurogenic shock



เกิดจากมี vasodilatation เลือดจะไปกองอยู่ที่ peripheral vessel ทำให้ mean systemic pressure ลดลง venous return ลดลง cardiac output ต่ำ, ถ้ามี spinal injury เหนือระดับ T4 จะมี cardiac suppression หัวใจจะทำงานน้อยลง cardiac output ลดลง การให้ Dopamine สามารถเพิ่ม cardiac output ได้

ในภาวะ obstructive shock จะมีค่า cardiac output ต่ำ, right atrial pressure ต่ำ, pulmonary capillary wedge pressure ต่ำ, SVR ต่ำ

Central venous oxygen saturation (ScvO₂)

venous oxygen saturation คือ ค่า O₂ ที่เหลือมาจากกระบวนการต่างๆตั้งแต่ gas exchange, hemoglobin, cardiac output, cellular metabolism ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงตัวใดตัวหนึ่งจะทำให้ค่า ScvO₂ เปลี่ยน

$$\begin{aligned}\text{Oxygen consumption}(VO_2) &= DaO_2 - DvO_2 \\ &= 1.39 \times Hb \times CO \times (SaO_2 - SvO_2) \\ SvO_2 &= SaO_2 \left[\frac{VO_2}{1.39 \times Hb \times CO} \right]\end{aligned}$$

ดังนั้น ค่า venous oxygen saturation จะต่ำลงเมื่อ

SaO₂ ต่ำ → hypoxemia

O₂ consumption(VO₂) สูง → Fever, shivering, pain, anxiety, convulsion, fighting

Hemoglobin ต่ำ, cardiac output ต่ำ

