บทความพิเศษ
Special Article

ฮีทสโตรก และการเจ็บป่วยอื่นที่เกี่ยวเนื่องจากภาวะอากาศร้อน
Heat Stroke and The Other Heat Related Illness

สิทธิชัย ตันติภาสวศิน ท.บ., ภัทิรา ตันติภาสวศิน ท.บ.***
Sittichai Tantipasawasin D.D.S.*, Pattira Tantipasawasin D.D.S.**

การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (climate change) ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกเพิ่มสูงขึ้น โลกเกิดภาวะอากาศร้อนจัด (extreme heat) บ่อยขึ้นและมีช่วงเวลาที่นานขึ้น ทำให้พบอุบัติการณ์การเจ็บป่วยที่เกี่ยวเนื่องจากอากาศร้อน (heat-related illnesses) เพิ่มสูงขึ้น

การเจ็บป่วยที่เกี่ยวเนื่องจากภาวะอากาศร้อนเป็นสาเหตุของการเสียชีวิตประมาณ 240 คนต่อปี พบได้บ่อยในกลุ่มนักกีฬา ผู้สูงอายุ ผู้มีโรคประจำตัว[1] ผู้ใช้แรงงานกลางแจ้ง และทหาร พบว่าการเสียชีวิตในระหว่างการแข่งขันกีฬาและการวิ่งมาราธอนเกี่ยวข้องกับการเกิดการเจ็บป่วยที่เกี่ยวเนื่องมาจากภาวะอากาศร้อนสูงกว่าสาเหตุของโรคหัวใจ 10 เท่า[2]

การเจ็บป่วยที่เกี่ยวเนื่องจากภาวะอากาศร้อนเป็นความผิดปกติที่เกิดจากการเสียสมดุลของกลไกการควบคุมอุณหภูมิ (thermoregulation) เมื่อร่างกายอยู่ในภาวะแวดล้อมที่ความร้อนสูง สามารถจำแนกโดยเรียงลำดับจากความรุนแรงน้อยไปมากคือ ผดร้อนหรือผดเหงื่อ (Heat rash) การบวมแดด (Heat Edema) ตะคริว (Heat cramps) ลมแดด (Heat syncope) ภาวะกล้ามเนื้อลายสลายตัวเฉียบพลัน (Rhadomyosis) เพลียแดด (Heat exhsustion) และโรคลมแดด (Heat Stroke)[3] ดังตารางที่ 1

Spectrum of Heat-Related Illnesses

Severity	Type	Symptoms	Treatment	Physiologic response
Mild	Heat edema	Extremity swelling, occasional facial flushing	Move from heat, elevate lower extremities; diuretics not indicated	Cutaneous vasodilation, vascular leak resulting in increased interstitial fluid
	Exercise-associated muscle cramps (heat cramps)	Muscle spasms, moist and cool skin, normal body temperature	Move from heat, rest, leg elevation, stretching, massage, oral electrolyte/fluid repletion	Muscular overuse, neuromuscular hyperactivity, fluid and electrolyte depletion
	Heat rash (miliaria rubra)	Eruption of red papules or pustules, primarily on neck, upper extremities, trunk, and groin	Remove clothing, evaporative cooling, avoid topical emollients	Vasodilation of skin vessels with obstructed sweat ducts/pores from macerated stratum corneum; secondary infection possible
Moderate	Exercise-associated collapse (heat syncope)	Lightheadedness, orthostasis, dizziness, transient loss of consciousness immediately following cessation of activity	Rest in supine position, elevate legs, oral or intravenous rehydration; prolonged recovery or significant cardiac risk factors should prompt further evaluation	Profound peripheral vasodilation, volume depletion and decreased vasomotor tone, decrease in venous return and subsequent syncope or presyncope
	Heat exhaustion	Thirst, headache, fatigue, tachycardia, weakness, ataxia, syncope, nausea, vomiting, diarrhea, cold and clammy skin, core temperature 101° to 104°F (38.3° to 40°C)	Move from heat, rest in supine position, leg elevation, evaporative cooling, intravenous or oral rehydration; delayed response requires further evaluation	Mild thermoregulatory dysfunction, hypovolemia with splanchnic vasoconstriction and hypotension, early multiorgan dysfunction
Severe	Heat stroke	Altered mental status, seizures, coma, tachycardia, hypotension, hyperventilation, diaphoresis (skin may be wet or dry at time of collapse), core temperature ≥ 105°F (40.5°C)	Move from heat; manage airway, breathing, and circulation; cold/ice water immersion; intravenous rehydration; hospital admission	Severe thermoregulatory dysfunction resulting in endotoxin leakage, systemic inflammatory response syndrome, cellular apoptosis, and multiorgan dysfunction

Information from reference 3.

ตารางที่ 1 แสดงอาการแสดง การรักษา และพยาธิสรีระของการเจ็บป่วยอันเกี่ยวเนื่องจากความร้อนจำแนกตามลำดับความรุนแรง

* ทันตแพทย์เชี่ยวชาญ ศัลยศาสตร์ช่องปากและแม็กซิลโลเฟเชียล โรงพยาบาลชลบุรี
** ทันตแพทย์ชำนาญการพิเศษ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

* *Dentist, Expert Level, Oral and Maxillofacial Surgery, Chonburi Hospital*
** *Dentist, Senior Professional Level, Faculty of Medicine, Burapha University*

Received : Apr 28, 2023 Revised : May 28, 2023 Accepted : May 30, 2023

ผดร้อนหรือผดเหงื่อ (Heat Rash)

ผดร้อนหรือผดเหงื่อ มีลักษณะเป็นตุ่มเล็กที่ผิวหนัง (red clusters of pimples) เกิดจากการระคายเคืองของผิวหนัง เมื่อผิวหนังมีเหงื่อออกมากในช่วงอากาศร้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่ออยู่ในภาวะแวดล้อมที่ร้อนชื้น อากาศมีความชื้นสัมพัทธ์สูง (humid) ทำให้ท่อต่อมเหงื่อเกิดการอุดตัน พบบ่อยบริเวณคอ หน้าอก ใต้ราวนม รักแร้ ขาหนีบ และข้อพับ (creases) อื่นของแขนและขา การป้องกันผดร้อนหรือผดเหงื่อทำได้โดยพยายามทำงานในภาวะแวดล้อมที่เย็น มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ รักษาให้ตำแหน่งที่เกิดผื่นแดงได้ง่ายให้แห้งอยู่เสมอ หลีกเลี่ยงการใช้ครีมหรือน้ำมันทาผิว

การบวมแดด (Heat Edema)

การบวมแดดเป็นการเจ็บป่วยที่เกี่ยวเนื่องจากความร้อนชนิดที่รุนแรงน้อย อาการแสดงพบการบวมตึงของมือและเท้า (orthostatic pooling) เกิดจากการขยายตัวของหลอดเลือดบริเวณผิวหนัง (transient peripheral vasodilation) และมีสารน้ำคั่งในช่องว่างระหว่างเซลล์บริเวณแขนและขาจากการนั่งหรือยืนเป็นเวลานาน การบวมตึงที่เท้าอาจบวมขึ้นมาถึงข้อเท้า ส่วนใหญ่ไม่บวมสูงเกินหน้าแข้ง จะเกิดขึ้นใน 2-3 วันแรกที่อยู่ในภาวะอากาศร้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในผู้ที่ไม่ได้ทำการปรับสภาพร่างกายให้พร้อมกับอากาศร้อน อาการบวมแดดจะดีขึ้นด้วยการหลีกเลี่ยงการนั่งหรือยืนเป็นเวลานาน ทำกายบริหาร ยืดแขนยืดขาเป็นระยะ

ตะคริว (Heat Cramps)

ตะคริวเป็นการหดเกร็งของกล้ามเนื้อ (spasms) ที่เกิดขึ้นเองที่ไม่ได้มาจากโรคพื้นเดิม ทำให้เกิดอาการเจ็บปวดของกล้ามเนื้อ มักพบในนักกีฬา ผู้ใช้แรงงานที่ต้องทำงานหนักหรือการออกกำลังกายติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน ในภาวะอากาศร้อน ทำให้เกิดการเสียเหงื่อเป็นปริมาณมาก ร่างกายเกิดการสูญเสียน้ำและเกลือแร่ไปเป็นจำนวนมาก ทำให้เกิดการลดต่ำลงของปริมาณเกลือแร่ในกล้ามเนื้อ เกลือแร่ที่สำคัญคือ แมกนีเซียม และโพแทสเซียม เกิดขึ้นบ่อยที่กล้ามเนื้อบริเวณหน้าท้อง แขน หรือขา ตะคริวอาจเกิดจากการดื่มน้ำเย็นเป็นจำนวนมากอย่างรวดเร็วภายหลังจากการทำกิจกรรมจนเกิดความเหนื่อยล้าอย่างสุดขีด ในภาวะอากาศที่ร้อนจัด การเกิดตะคริวเป็นอาการเตือนสำคัญก่อนการเกิดการเพลียแดด

การปฐมพยาบาลผู้ป่วยเป็นตะคริวทำดังต่อไปนี้ ให้ดื่มน้ำและรับประทานของขบเคี้ยว หรือดื่มเครื่องดื่มเกลือแร่ทุก 15-20 นาที เพื่อทดแทนพลังงานและอิเล็กโทรไลต์ที่พร่องลง (น้ำเกลือแร่สามารถทำดื่มได้เองโดยการเติมเกลือแกง 1 ช้อนชาในน้ำ 1.14 ลิตร) ควรหลีกเลี่ยงการรับประทานเกลืออัดเม็ด (salt tablets) และนำส่งโรงพยาบาลถ้าตะคริวไม่ดีขึ้นใน 1 ชั่วโมง หรือมีปัญหาโรคหัวใจร่วมด้วย

ลมแดด (Heat Syncope)

ลมแดดเป็นอาการเป็นลมแบบหนึ่งที่พบได้บ่อยเมื่อทำกิจกรรมอยู่กลางแดดเป็นระยะเวลานาน อาการแสดงได้แก่ อาการวิงเวียนศีรษะ (Light-headedness) การรับรู้ถึงสมดุลและสถานที่เปลี่ยนแปลงไป รู้สึกเหมือนหัวหมุน หน้ามืดเหมือนจะเป็นลม (Dizziness) เป็นลมหมดสติชั่วคราว (fainting) เนื่องจากเกิดความดันโลหิตลดต่ำลงอย่างฉับพลัน (orthostatic syncope) ภายหลังจากการเปลี่ยนท่าจากท่านอนหรือท่านั่ง มาเป็นท่ายืนอย่างรวดเร็ว เมื่ออยู่กลางแดดเป็นเวลานาน สาเหตุจากการขยายของหลอดเลือดที่ผิวหนัง ทำให้ปริมาตรเลือดสัมพัทธ์ในระบบไหลเวียนโลหิตลดลง ทำให้ปริมาณเลือดที่สูบฉีดไปเลี้ยงสมองไม่เพียงพอ[4] ปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดลมแดดคือภาวะขาดน้ำ (dehydration) และขาดการเตรียมปรับตัวปรับสภาพร่างกาย (acclimatization) ก่อนทำกิจกรรมกลางแจ้ง และการค่อย ๆ ลดความเหนื่อยจากการออกกำลังกายลง (cool-down) การปฐมพยาบาลเบื้องต้น ให้นำผู้ป่วยนั่ง หรือนอนในที่ร่มที่อากาศเย็นสบาย อาการจะดีขึ้นในระยะเวลาอันสั้น 2-3 นาที ถ้าผู้ป่วยรู้สึกตัวให้ดื่มน้ำ หรือน้ำเกลือแร่ช้า

กล้ามเนื้อลายสลายตัวเฉียบพลัน (Rhadomyosis)

การเกิดการสลายตัวของกล้ามเนื้อลายเฉียบพลันจากการทำกิจกรรม (physical exertion) ในภาวะอากาศที่ร้อนจัด (heat stress) ต่อเนื่องเป็นเวลานาน เป็นภาวะที่พบได้น้อยในเวชปฏิบัติทั่วไป อาการแสดงของกล้ามเนื้อลายสลายตัวเฉียบพลันได้แก่ อาการปวดกล้ามเนื้อ เกิดตะคริว (muscle cramps) กล้ามเนื้ออ่อนแรง (weakness) ความทนทานในการทำกิจกรรมลดลง (exercise intolerance) อิเล็กโทรไลต์ โปรตีน และสารประกอบอื่นจำนวนมากที่อยู่ภายในเซลล์ที่เกิดสลายตัวถูกปล่อยเข้าสู่กระแสโลหิต ส่งผลให้หัวใจเต้นผิดปกติ ชัก และทำอันตรายต่อไต ทำให้ไตเกิดความเสียหาย ค่าระดับซีรั่มคีเอทินิน ฟอสโฟไคเนส (Creatinine Phosphokinase: CPK) สูงขึ้นอย่างมาก พบภาวะมัยโอโกลบินยูเรีย (myogloinuria) โปรตีนมัยโอโกลบินของกล้ามเนื้อในปัสสาวะ ปัสสาวะมีสีดำเหมือนน้ำโคคา โคล่า การปฐมพยาบาลเบื้องต้นให้หยุดกิจกรรมที่กำลังทำอยู่ทุกชนิด ดื่มน้ำมาก ๆ และนำส่งโรงพยาบาลเพื่อรับการตรวจรักษาทางการแพทย์

เพลียแดด (Heat exhaustion)

การเพลียแดดเป็นอาการหมดเรี่ยวแรงที่เกิดขึ้นจากการสัมผัสอากาศที่ร้อนจัดและมีความชื้นสัมพัทธ์สูง ทำให้ร่างกายเกิดการสูญเสียน้ำและเกลือแร่เป็นปริมาณมากจากการเสียเหงื่อมากขณะทำกิจกรรมหรือออกกำลังกายอย่างหนัก ทำให้เกิดภาวะขาดน้ำ (dehydration) และการพร่องเกลือแร่ (salt

depletion) หัวใจสูบฉีดโลหิตไปเลี้ยงอวัยวะต่าง ๆ ลดลง (hypoperfusion) พบมากในผู้สูงอายุ ผู้ป่วยโรคความดันสูง และผู้ใช้แรงงานที่ทำงานกลางแจ้ง หรือในภาวะอากาศร้อน ทำให้อุณหภูมิแกนกายเพิ่มสูงขึ้นกว่า 38 องศาเซลเซียส (100.4°F) แต่ไม่เกิน 40.5 องศาเซลเซียส (104.9°F) โดยไม่พบความผิดปกติของการทำงานของระบบประสาทส่วนควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย อาการแสดงของการเพลียแดด ได้แก่ อาการปวดศีรษะ (headache) คลื่นไส้ (nausea) เวียนศีรษะ (dizziness) อ่อนแรง (weakness) กระสับกระส่าย (irritability) กระหายน้ำ (thirst) เหงื่อออกมาก (heavy sweating) ปัสสาวะน้อยลง (decreased urine output) หัวใจเต้นเร็ว อาจพบเกิดตะคริวและภาวะขาดน้ำ (dehydration) ร่วมด้วย

การปฐมพยาบาลเบื้องต้นทำดังต่อไปนี้ นำผู้ป่วยเข้ามานอนพัก (rest) ในที่ร่ม อากาศถ่ายเทสะดวก ปลดเสื้อผ้ารองเท้า ถุงเท้าให้ผู้ป่วยระบายความร้อนได้ดีขึ้น ทำให้อุณหภูมิของร่างกายลดลง (mild cooling) ทางผิวหนังด้วยละอองน้ำเย็น (spray) เช็ดตัวด้วยผ้าเย็น (sponge) และพัดลม ยกเท้าสูงเพื่อทำให้อาการความดันต่ำจากการปรับเปลี่ยนท่า (postural hypotension) ดีขึ้น และให้สารน้ำให้เพียงพอ (hydration) ดื่มน้ำและหรือน้ำเกลือแร่ประมาณ 1 ลิตรต่อชั่วโมง นาน 4-6 ชั่วโมง ถ้าการฟื้นตัวช้าให้พิจารณาให้สารน้ำ 5%Dextrose in NSS/2 หรือ 5%Dextrose in NSS ทางหลอดเลือดเพิ่มเติม ผู้ป่วยจะฟื้นตัวและรู้สึกสบายขึ้นใน 2-3 ชั่วโมง การเพลียแดดมักไม่ต้องอาศัยหน่วยแพทย์ฉุกเฉินถ้าอุณหภูมิร่างกายลดลงได้ภายใน 30 นาที ถ้าผู้ป่วยมีอาการเปลี่ยนแปลงแย่ลงจากการเพลียแดดไปเป็นโรคลมแดดจำเป็นต้องได้รับการรักษาฉุกเฉิน

การป้องกันการเกิดเพลียแดด ให้ดื่มน้ำเย็นเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อต้องทำกิจกรรมหนักในภาวะแวดล้อมที่ร้อน สวมเสื้อผ้าสีอ่อน หลวม ๆ ระบายอากาศได้ดี หลีกเลี่ยงการทำกิจกรรมกลางแจ้งระหว่างช่วงเวลา 11-15 นาฬิกา หลีกเลี่ยงเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ ถ้าทำกิจกรรมในอาคารในวันที่อากาศภายนอกร้อนจัด อากาศภายนอกร้อนกว่าภายในอาคาร แนะนำให้ปิดหน้าต่าง ปิดม่าน ปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าและไฟส่องสว่างที่สร้างความร้อน เปิดเครื่องปรับอากาศถ้าสามารถทำได้

โรคลมแดด (Heat Stroke)

ฮีทสโตรกหรือโรคลมแดด เป็นการเจ็บป่วยที่เกี่ยวเนื่องจากความร้อนที่รุนแรงที่สุด เป็นภาวะที่อุณหภูมิแกนกายเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว สูงเกิน 40.5 องศาเซลเซียสภายใน 10-15 นาที จากการที่อยู่ในภาวะแวดล้อมที่ร้อนจัด เนื่องจากร่างกายไม่สามารถรักษาดุลความร้อนให้อุณหภูมิแกนกายอยู่ในเกณฑ์ปกติ สาเหตุจากกลไกการระบายความร้อนล้มเหลว ส่งผลเสียต่อระบบประสาท หัวใจ และไต[5,6] ฮีทสโตรกสามารถก่อให้เกิดความพิการถาวร หรือเสียชีวิตได้ ถ้าไม่ได้รับการรักษาอย่างทันท่วงที อัตราการเสียชีวิตสูงถึงร้อยละ 10[1] อาการและอาการแสดงของฮีทสโตรก ได้แก่

- อุณหภูมิแกนกาย (core body temperature) สูงกว่า 40.5 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอาการหลักของฮีทสโตรก
- ระดับความรู้สึกตัว หรือพฤติกรรมเปลี่ยนแปลง (altered mental state or behavior) เช่น เกิดความสับสน (confusion) กระสับกระส่าย (agitation) พูดไม่ชัดลิ้นแข็ง (slurred speech) หงุดหงิดฉุนเฉียว (irritability) เพ้อ (delirium) ชัก (seizures) และไม่รู้สึกตัว (coma)
- การขับเหงื่อเปลี่ยนแปลง (alteration in sweating) ปกติในภาวะอากาศร้อน เหงื่อจะออกมาก แต่ในผู้ป่วยฮีทสโตรกผิวหนังจะรู้สึกร้อนแต่แห้ง หรือชื้นเพียงเล็กน้อย
- เกิดอาการคลื่นไส้และอาเจียน (nausea and vomiting)
- ผิวแดง (flushed skin)
- หายใจเร็วแต่ตื้น (rapid and shallow breathing)
- หัวใจเต้นเร็ว (racing heart rate)
- ปวดศีรษะ (headache)

สมาคมเวชศาสตร์ฉุกเฉินแห่งประเทศญี่ปุ่น (Japanese Association for Acute Medicine; JAAM) ได้ให้นิยามของฮีทสโตรก (JAAM-HS)7 คือภาวะการเจ็บป่วยที่เกี่ยวเนื่องจากความร้อนที่แสดงอาการอย่างใดอย่างหนึ่งต่อไปนี้

I แสดงอาการของระบบประสาท เช่น ความรู้สึกตัวเปลี่ยนไป (impaired consciousness) จนถึงหมดสติ หรือชักเกร็ง (convulsions/seizures)

II การทำงานของไตหรือตับผิดปกติ (renal/hepatic dysfunction)

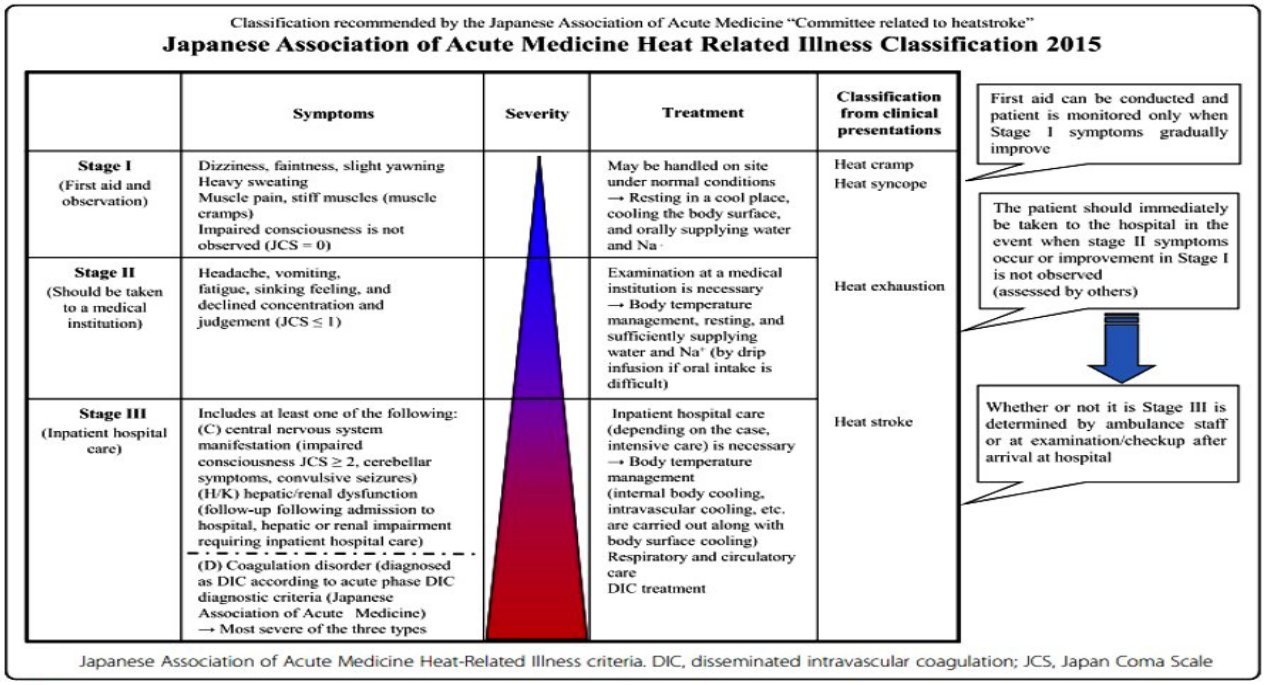
III การแข็งตัวของเลือดผิดปกติ (coagulation disorder) ได้แก่ การเกิดภาวะลิ่มเลือดแพร่กระจายในหลอดเลือด (disseminated intravascular coagulation; DIC)

ในปี ค.ศ. 2015 สมาคมเวชศาสตร์ฉุกเฉินแห่งประเทศญี่ปุ่นทำการปรับปรุงและให้คำจำกัดความของฮีทสโตรกใหม่ (The modified JAAM heat stroke definition; JAAM-HS-WG)[8] ดังตารางที่ 2 และ 3 คือผู้ป่วยที่สัมผัสภาวะแวดล้อมที่ร้อนจัดและมีอาการแสดงเข้าได้กับข้อบ่งชี้ต่อไปนี้อย่างน้อย 1 ข้อ

I. Glasgow Coma Scale (GCS) score of ≤ 14,

II. Creatinine or total bilirubin levels of ≥ 1.2 mg/dL,

III. JAAM DIC score of ≥ 4.



ตารางที่ 2 แสดงการจำแนกการเจ็บป่วยเนื่องจากความร้อน อาการแสดง และการรักษา โดยสมาคมเวชศาสตร์ฉุกเฉินแห่งประเทศญี่ปุ่น ฉบับปรับปรุง ค.ศ. 2015

		Bouchama's definition	JAAM criteria	JAAM-HS-WG criteria
Environment		Exposure to environmental heat (classic heat stroke)	Exposure to high environmental temperature	
Body temperature		Core body temperature > 40 °C	-	-
Organ dysfunction	Central nervous system	Delirium, convulsions, or coma	Impaired consciousness JCS ≥ 2, cerebellar symptoms, convulsive seizures	GCS score ≤ 14
	Coagulation	-	Diagnosed as DIC by JAAM	JAAM DIC score ≥ 4
	Liver	-	Follow-up after admission to hospital, hepatic or renal impairments requiring inpatient hospital care	Creatinine or total bilirubin levels ≥ 1.2 mg/dL
	Renal	-		
	Cardiovascular	-	-	-
	Respiratory	-	-	-

GCS Glasgow Coma Scale, JAAM Japanese Association of Acute Medicine, JAAM-HS-WG Japanese Association of Acute Medicine heat stroke committee working group, JCS Japan Coma Scale, DIC disseminated intravascular coagulation

ตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบภาวะฮีทสโตรกตามคำจำกัดความของ Bouchama's, JAAM-HS และ JAAM-HS-WG

ฮีทสโตรกหรือโรคลมแดด จำแนกได้เป็น 2 ชนิด[1] คือ

1. โรคลมแดดที่ไม่ได้เกิดจากการใช้กำลังกายหนัก (Classical/Non-Exertional Heat Stroke; NEHS) โรคลมแดดประเภทนี้เกิดจากความร้อน ในภาวะอากาศที่ร้อนจัด พบมากในผู้สูงอายุและผู้มีโรคประจำตัวที่มีความบกพร่องในการระบายความร้อน ทำให้ไม่สามารถทนต่อสภาพอากาศร้อนและภาวะขาดน้ำได้

2. โรคลมแดดระหว่างทำกิจกรรม (Exertional Heat Stroke; EHS) พบมากในคนหนุ่มสาว ในกลุ่มนักกีฬา ผู้ใช้แรงงานกลางแจ้ง และทหาร ที่ทำกิจกรรมอย่างหนัก ในภาวะอากาศที่ร้อนจัด เป็นระยะเวลานาน ร่างกายมีการผลิตความร้อนเพิ่มมากขึ้น มากเกินความสามารถในการระบายความร้อนของร่างกาย

Classic/Non-Exertional Heat Stroke มีอุบัติการณ์การเกิดสูงในช่วงที่เกิดคลื่นความร้อน (heat waves) มีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับการทำงานของระบบหัวใจและหลอดเลือด ในขณะที่ Exertional Heat Stroke สามารถเกิดขึ้นได้ทุกช่วงเวลาของปี พบมากในช่วงฤดูร้อนที่อากาศร้อนจัด ตารางที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบระหว่าง Classic/Non-Exertional Heat Stroke และ Exertional Heat Stroke

ตารางที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบระหว่าง Classic/Non-Exertional Heat Stroke และ Exertional Heat Stroke

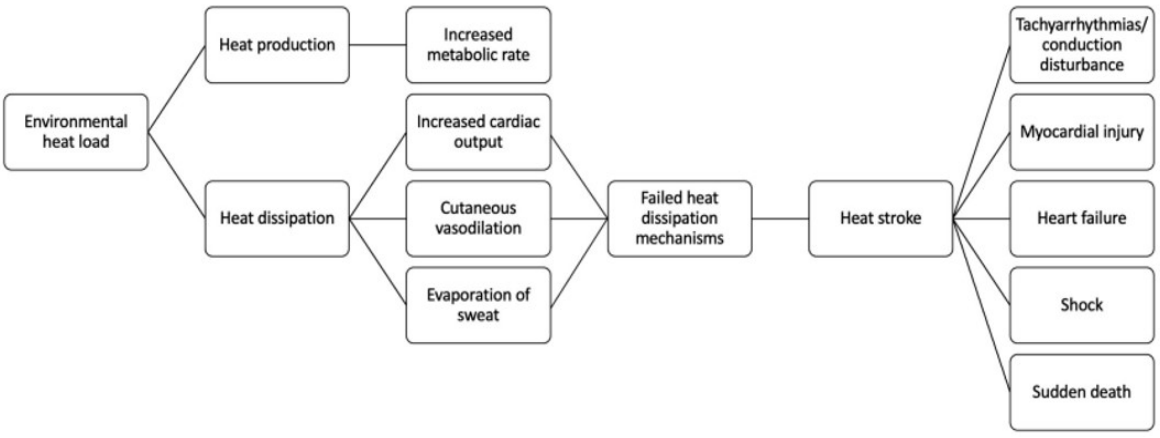
Characteristic	Classic heat stroke	Exertional heat stroke
General health	Predisposing health factors	Healthy person
Age	Older	Younger
Occurrence	Often occurs during high temperatures	Occurs sporadically
Sweating	Absent	Present
Activity	Sedentary	Strenuous
Disseminated intravascular coagulation	Uncommon	Common
Acute renal failure	Uncommon	Common
Lactic acidosis	Uncommon	Common
Hyperuricemia	Moderate	Severe
Hypokalemia	Rare	Common
Rhabdomyolysis	Rare	Common

สัญญาณเตือนที่สำคัญของฮีทสโตรก คือการไม่มีเหงื่อออกขณะอยู่ในภาวะอากาศร้อนจัด หน้าแดง ตัวร้อน รู้สึกกระหายน้ำมาก วิงเวียน ปวดศีรษะ หน้ามืด หายใจเร็ว คลื่นไส้อาเจียน กล้ามเนื้อเกร็ง มึนงง สับสน รูม่านตาขยาย ชัก ความรู้สึกตัวลดน้อยลงจนถึงหมดสติ หัวใจเต้นเร็วแต่แผ่วเบา

พยาธิกำเนิดและพยาธิสรีรวิทยา (Pathogenesis and Pathophysiology) ของฮีทสโตรก

ฮีทสโตรกเกิดจากการเสียสมดุลของระบบควบคุมความร้อนของร่างกาย (thermal homeostasis) ระหว่างการสร้างความร้อน และการระบายความร้อนของร่างกาย ทำให้อุณหภูมิแกนกายเพิ่มสูงขึ้น ความร้อนในร่างกายที่เพิ่มขึ้นส่วนใหญ่เกิดจากขบวนการเมตาบอริสม (metabolism) ขณะทำกิจกรรม การสัมผัสแสงแดด การสัมผัสอากาศร้อน และเสื้อผ้าที่สวมใส่ ขณะทำกิจกรรมเต็มกำลัง ร่างกายสามารถผลิตพลังงานเพิ่มสูงขึ้นมากกว่า 20 เท่า พลังงานจำนวนนี้ร้อยละ 75 เปลี่ยนไปเป็นความร้อน

การระบายความร้อนออกจากร่างกาย (heat dissipation) เกิดขึ้นผ่านกลไกสำคัญ 2 กลไก คือกลไกส่วนกลาง (central mechanisms) และกลไกส่วนรอบนอก (peripheral mechanisms) การระบายความร้อนผ่านกลไกส่วนกลางควบคุมผ่านระบบประสาทส่วนควบคุมอุณหภูมิ (thermoregulation Center) ซึ่งอยู่ที่ไฮโปทาลามัสส่วนหน้า (anterior hypothalamus) ในภาวะปกติร่างกายรักษาอุณหภูมิแกนกาย (core temperature) ให้คงที่อยู่ที่ประมาณ 37 องศาเซลเซียส[9] เมื่อร่างกายมีอุณหภูมิแกนกายเพิ่มสูงขึ้น ระบบประสาทอัตโนมัติซิมพาเทติก (sympathetic) จะกระตุ้นระบบหัวใจและหลอดเลือดให้หัวใจทำงานมากขึ้น หลอดเลือดที่ไปเลี้ยงผิวหนังขยายตัว ส่งผลให้เหงื่อออกเพิ่มมากขึ้น เพื่อเพิ่มการระบายความร้อน[10] การระบายความร้อนผ่านกลไกส่วนรอบนอก ควบคุมผ่านกระบวนการแผ่รังสีความร้อน (radiation) การนำความร้อน (conduction) การพาความร้อน (convection) และการระเหย (evaporation) กลไกควบคุมความร้อนส่วนกลาง มีบทบาทสำคัญกว่ากลไกส่วนรอบนอกมาก ดังแผนภูมิที่ 1



แผนภูมิที่ 1 แสดงระบบหัวใจและหลอดเลือดกับกลไกการเกิดฮีทสโตรกและภาวะแทรกซ้อนที่เกิดขึ้น

ภาวะอากาศร้อนจัดทำให้อุณหภูมิร่างกายเพิ่มสูงขึ้น ความร้อนจากภาวะแวดล้อมภายนอกเข้าสู่ร่างกายผ่านกระบวนการแผ่รังสี (radiation) และความร้อนที่ผลิตจากขบวนการเมตาบอริสมของกล้ามเนื้อ เมื่ออุณหภูมิแกนกาย (core temperature) เพิ่มสูงขึ้น หัวใจสูบฉีดโลหิตเพิ่มสูงขึ้น หลอดเลือดที่ผิวหนังเกิดการขยายตัว (cutaneous vasodilation) เลือดไหลเวียนไปสู่ผิวหนังเพิ่มมากขึ้น ทำให้ร่างกายสร้างเหงื่อเพิ่มขึ้น หลอดเลือดที่ไปเลี้ยงลำไส้และกระเพาะอาหารหดตัว (visceral vasoconstriction) ความร้อนส่วนใหญ่ถูกระบายผ่านทางการไหลเวียนโลหิต จากหัวใจ หลอดเลือดใหญ่สู่หลอดเลือดบริเวณผิวหนัง โดยกระบวนการพาความร้อน (convection) เลือดมีความสามารถในการนำพาความร้อนได้เป็นปริมาณมากโดยที่ทำให้อุณหภูมิของร่างกายเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย การขยายตัวของหลอดเลือดถ้าหัวใจไม่สามารถเพิ่มปริมาณการสูบฉีดโลหิตได้มากพอที่จะรักษาระดับความดันโลหิตให้อยู่ในระดับที่ปกติ จะทำให้ความดันโลหิตลดลง การหดตัวของหลอดเลือดบริเวณผิวหนังเพิ่มการต้านทานการไหลเวียนเลือดรอบนอกสามารถเพิ่มความดันโลหิต แต่ทำให้ความสามารถในการระบายความร้อนลดลง

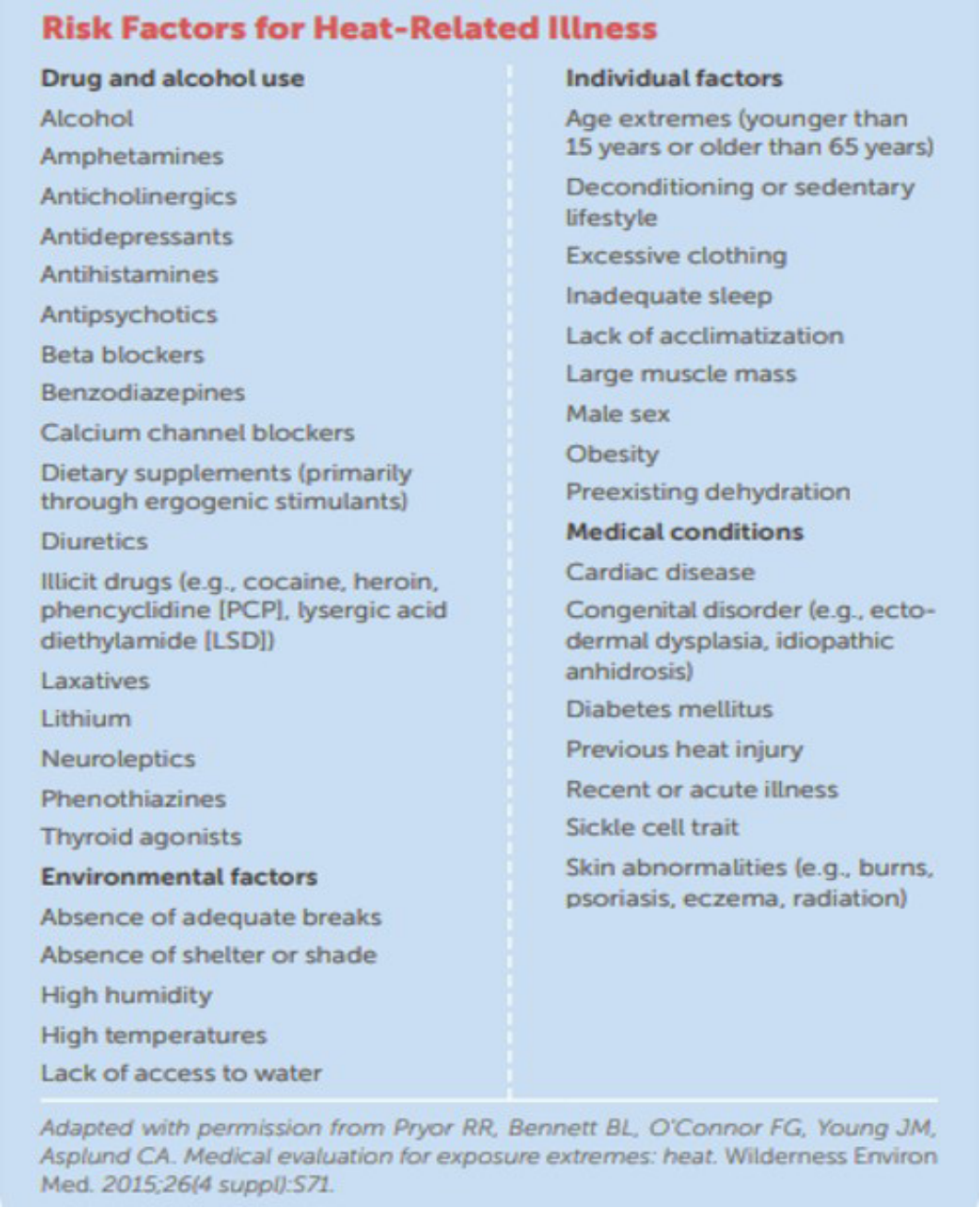
ความร้อนส่วนน้อยถูกส่งผ่านจากกล้ามเนื้อไปสู่ผิวหนังโดยตรงผ่านการนำความร้อน (conduction) การระบายความร้อนผ่านการนำความร้อน (conduction) และการแผ่รังสีความร้อน (radiation) จะมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของภาวะแวดล้อมต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส เหงื่อช่วยระบายความร้อนผ่านการระเหย (evaporation) การระบายความร้อนผ่านกระบวนการระเหยเป็นกระบวนการระบายความร้อนหลักเมื่ออุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมสูงกว่า 20 องศาเซลเซียส (68 องศาฟาเรนไฮท์) ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศที่เพิ่มขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพในการระบายความร้อนผ่านการระเหยของเหงื่อลดลง

ภายใต้ภาวะอากาศร้อนจัดทำให้อุณหภูมิแกนกายเพิ่มสูงขึ้น แต่ความสามารถในการระบายความร้อนของร่างกายกลับลดลงเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ (temperature gradient) ระหว่างร่างกายและภาวะแวดล้อมต่ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่ออุณหภูมิของภาวะแวดล้อมสูงกว่าอุณหภูมิแกนกาย กลไกการพาความร้อน (convection) การนำความร้อน (conduction) การแผ่ความร้อน (radiation) จะเกิดการทำงานย้อนกลับ นำความร้อนจากสิ่งแวดล้อมภายนอกเข้าสู่ร่างกาย ทำให้อุณหภูมิแกนกายเพิ่มสูงขึ้น เกิดภาวะตัวร้อนเกิน (hyperthermia) หากอุณหภูมิแกนกายสูงต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน (prolonged/extreme hyperthermia) จะส่งเสริมให้เกิดการรั่วของเอนโดท็อกซิน (endotoxin) จากเยื่อบุผนังลำไส้เข้าสู่ระบบไหลเวียนโลหิต (systemic circulation)[11] กระตุ้นให้เซลล์เม็ดเลือดขาวและเซลล์เยื่อบุหลอดเลือดชั้นใน (endothelial) หลั่งไซโตไคน์ (cytokine) ซึ่งเป็นโปรตีนโมเลกุลส่งสัญญาณ (signal molecule) หลายชนิด ได้แก่ อินเตอร์ลิวคิน 1 (interleukin (IL)-1) และ อินเตอร์ลิวคิน 6 (IL-6)[12] และ โปรตีน HMGB1 (high-mobility group box 1 protein) โปรตีนที่บ่งบอกการบาดเจ็บเสียหายของเซลล์และเนื้อเยื่อ จากเซลล์กล้ามเนื้อเข้าสู่ระบบไหลเวียนโลหิต ทำให้เกิดภาวะการอักเสบแพร่กระจายทั่วไปในร่างกาย (systemic inflammatory response syndrome; SIRS)[13,14] ทำให้ปริมาณเลือดที่ไปเลี้ยงอวัยวะภายในช่องท้อง (visceral perfusion) ลดลง ร่วมกับการเกิดลัดวงจร (shunt) ของเลือดจากระบบหัวใจและหลอดเลือด (central circulation) ถูกส่งไปเลี้ยงผิวหนังและกล้ามเนื้อเพิ่มมากขึ้น นำไปสู่การเกิดการทำงานของอวัยวะล้มเหลว (organ failure)[15] ดังนั้น ฮีทสโตรกจึงเป็นภาวะผิดปกติที่ทำให้เกิดการทำงานของหลายอวัยวะล้มเหลว (multiple organ failure) อันเนื่องจากภาวะอากาศร้อนจัด

ปัจจัยเสี่ยงของการเกิดฮีทสโตรก (Risk factors of heat stroke)

ปัจจัยที่เพิ่มความเสี่ยงของการเจ็บป่วยอันเกี่ยวเนื่องจากความร้อน ได้แก่ การทำกิจกรรมกลางแจ้งหรือในที่มีความร้อนสูงติดต่อเป็นเวลานาน ภาวะขาดน้ำ สภาวะความแข็งแรงของร่างกาย โรคประจำตัว การเป็นไข้ ยาที่รับประทานและสารเสพติดบางชนิด ผู้สูงอายุหรือเด็กเล็ก คนอ้วน และความชื้นสัมพัทธ์สูง ฯลฯ ดังตารางที่ 5

การสูญเสียน้ำนำไปสู่ภาวะขาดน้ำ (dehydration) ถ้าไม่ได้รับการดื่มน้ำเข้าไปทดแทนอย่างเพียงพอ ร่างกายจะรู้สึกกระหายน้ำ การเกิดภาวะขาดน้ำตั้งแต่ร้อยละ 3 ของน้ำทั้งหมดในร่างกาย เพิ่มความเสี่ยงของการเกิดความเจ็บป่วยที่เกี่ยวเนื่องจากความร้อนอย่างมีนัยสำคัญ[16] แต่ในนักกีฬาจะเริ่มรู้สึกกระหายน้ำช้ากว่าคนทั่วไป การกระหายน้ำไม่สามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงการขาดน้ำที่น่าเชื่อถือ นักกีฬาจะเริ่มรู้สึกกระหายน้ำเมื่อมีภาวะขาดน้ำสูงถึงร้อยละ 5 ของปริมาณน้ำในร่างกาย[17] ภาวะขาดน้ำจะรุนแรงมากขึ้นถ้าดื่มเครื่องดื่มที่มีคาเฟอีนหรือแอลกอฮอล์ผสมเนื่องจากเครื่องดื่มเหล่านี้ทำให้เกิดการขับน้ำทางปัสสาวะเพิ่มขึ้น (diuretic)



Risk Factors for Heat-Related Illness

Drug and alcohol use
- Alcohol
- Amphetamines
- Anticholinergics
- Antidepressants
- Antihistamines
- Antipsychotics
- Beta blockers
- Benzodiazepines
- Calcium channel blockers
- Dietary supplements (primarily through ergogenic stimulants)
- Diuretics
- Illicit drugs (e.g., cocaine, heroin, phencyclidine [PCP], lysergic acid diethylamide [LSD])
- Laxatives
- Lithium
- Neuroleptics
- Phenothiazines
- Thyroid agonists

Environmental factors
- Absence of adequate breaks
- Absence of shelter or shade
- High humidity
- High temperatures
- Lack of access to water

Individual factors
- Age extremes (younger than 15 years or older than 65 years)
- Deconditioning or sedentary lifestyle
- Excessive clothing
- Inadequate sleep
- Lack of acclimatization
- Large muscle mass
- Male sex
- Obesity
- Preexisting dehydration

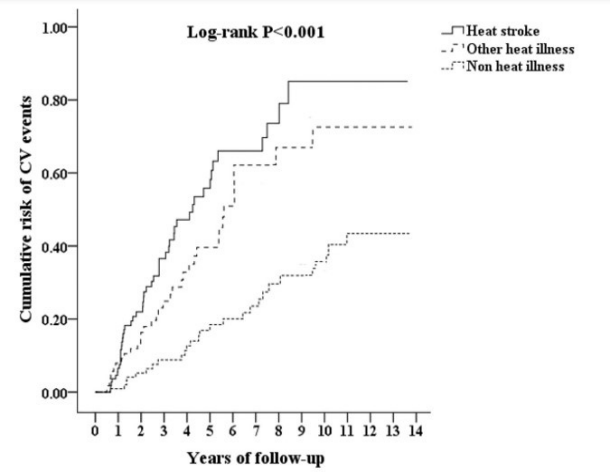
Medical conditions
- Cardiac disease
- Congenital disorder (e.g., ectodermal dysplasia, idiopathic anhidrosis)
- Diabetes mellitus
- Previous heat injury
- Recent or acute illness
- Sickle cell trait
- Skin abnormalities (e.g., burns, psoriasis, eczema, radiation)

Adapted with permission from Pryor RR, Bennett BL, O'Connor FG, Young JM, Asplund CA. Medical evaluation for exposure extremes: heat. Wilderness Environ Med. *2015;26(4 suppl):S71.*

ตารางที่ 5 แสดงปัจจัยเสี่ยงของการเกิดความเจ็บป่วยอันเกี่ยวเนื่องกับความร้อน

ผลกระทบของระบบหัวใจและหลอดเลือดต่อฮีทสโตรก (Impact of the cardiovascular system on heat stroke)

ผู้มีสุขภาพแข็งแรงเมื่ออยู่ภายใต้ภาวะอากาศร้อนจัด (thermal stress) หลอดเลือดที่ผิวหนังจะเกิดการขยายตัว หลอดเลือดของม้ามและอวัยวะในช่องท้องเกิดการหดตัว (splanchnic vessels constrict) หัวใจต้องเพิ่มการสูบฉีดโลหิต (cardiac output) เพื่อรักษาระดับความดันโลหิต (blood pressure) ให้อวัยวะต่าง ๆ มีเลือดไปเลี้ยง (organ perfusion) เพียงพอ และเพิ่มเลือดไปเลี้ยงที่ผิวหนังเพื่อระบายความร้อน[18] เพื่อรักษาอุณหภูมิแกนกายให้คงที่ (thermal homeostasis) ผู้ที่การทำงานของระบบหัวใจและหลอดเลือดมีความบกพร่อง เช่น ผู้ป่วยลิ้นหัวใจรั่ว (valvular heart disease) ผนังหัวใจรั่ว (septal defect) ฯลฯ ทำให้ขาดประสิทธิภาพในการเพิ่มการสูบฉีดโลหิต (stroke volume และ cardiac output) ไปที่หลอดเลือดที่เลี้ยงผิวหนังลดลง ส่งผลให้ความสามารถในการระบายความร้อนของร่างกายลดลง ทำให้ความเสี่ยงของการเกิดฮีทสโตรกเพิ่มสูงขึ้น[19] ดังกราฟที่ 1 จากการวิเคราะห์อภิมาน (meta-analysis) ในผู้ป่วยฮีทสโตรก พบว่าผู้เป็นโรคหัวใจและหลอดเลือดมีความเสี่ยงต่อการเสียชีวิตเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ 2.5 เท่า[20]



กราฟที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ของอุบัติการณ์สะสมของโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดในกลุ่มผู้ป่วยฮีทสโตรก กลุ่มการเจ็บป่วยที่เกี่ยวเนื่องจากความร้อนอื่น ๆ และกลุ่มความเจ็บป่วยที่ไม่เกี่ยวเนื่องจากความร้อน[21]

ผลกระทบของยารักษาโรคประจำตัวต่อฮีทสโตรก (Impact of medications on heat stroke)

ยารักษาโรคหัวใจหลายชนิด เช่น ยากลุ่มเบต้า บล็อกเกอร์ (Beta-blockers) ยากลุ่มออกฤทธิ์ปิดกั้นการผ่านเข้าสู่เซลล์ของแคลเซียม (nondihydropyridine calcium-channel blockers) เพิ่มความเสี่ยงของการเกิดฮีทสโตรก เนื่องจากทำให้เกิดความบกพร่องในการเพิ่มการสูบฉีดโลหิตของหัวใจเพื่อตอบสนองต่อภาวะอากาศร้อนจัด

ยาขับปัสสาวะ (Diuretics) ช่วยซ้ำเติมภาวะขาดน้ำในผู้ป่วยฮีทสโตรกให้รุนแรงมากขึ้น และเพิ่มความเสี่ยงของการเสียสมดุลของอิเลคโตไลท์ (electrolyte)

ยาลดระดับน้ำตาลในกระแสเลือด (hypoglycemic agents) เช่น เมทฟอร์มิน (metformin) ยากลุ่มซัลโฟนิลยูเรีย (sulfonylureas) และยากลุ่ม SGLT2 (sodium-glucose cotransporter 2 inhibitors) จะส่งเสริมให้ภาวะขาดน้ำรุนแรงเพิ่มขึ้น

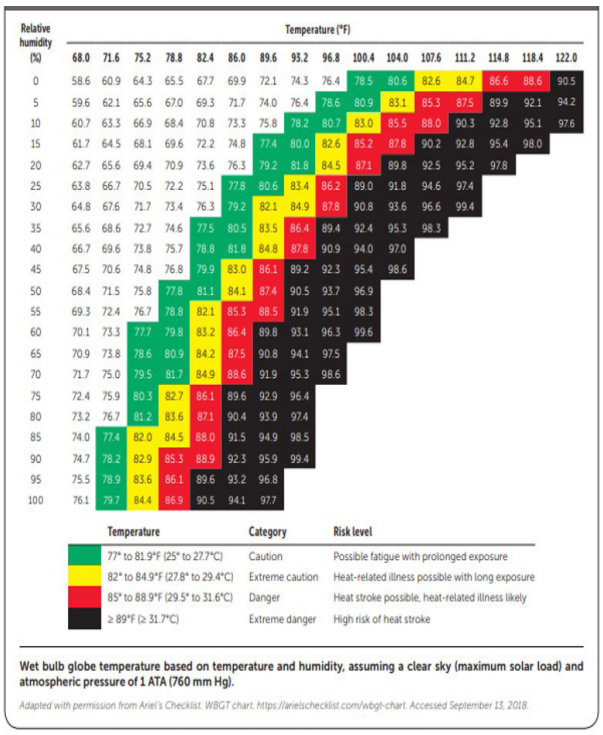
ยาในกลุ่มยับยั้งระบบเรนิน แองจิโอเทนซิน (Renin-angiotensin system inhibitors) เพิ่มความเสี่ยงการเกิดไตวายเฉียบพลัน (acute kidney injury) เมื่อเกิดฮีทสโตรก

ผลกระทบของอายุต่อฮีทสโตรก (Impact of age on heat stroke)

ผู้สูงอายุมักพบการแข็งตัวของหลอดเลือด (atherosclerotic) ทำให้การขยายตัวของหลอดเลือดที่ผิวหนัง (cutaneous vasodilation) บกพร่อง และการตอบสนองต่อไนตริกออกไซด์ (nitric oxide) ลดลง[22] ผู้สูงอายุส่วนใหญ่ใช้วิธีการเพิ่มอัตราการเต้นของหัวใจ (heart rate) มากกว่าการเพิ่มปริมาณเลือดจากการบีบตัวของหัวใจแต่ละครั้ง (stroke volume) เพื่อเพิ่มปริมาณการสูบฉีดโลหิต (cardiac output) ทำให้ความเสี่ยงของการเกิดกล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือด และกล้ามเนื้อหัวใจตายเพิ่มสูงขึ้น

ผลกระทบของความชื้นในอากาศต่อฮีทสโตรก (Impact of humid on heat stroke)

ความชื้นในอากาศ(Humid conditions) มีผลต่อการรักษาสมดุลของความร้อนของร่างกายเนื่องจากสิ่งแวดล้อมมีความชื้นสัมพัทธ์สูงจะทำให้การระเหยของเหงื่อลดลง ทำให้ความสามารถในการระบายความร้อนของร่างกายลดลง



Relative humidity (%)	Temperature (°F)															
	68.0	71.6	75.2	78.8	82.4	86.0	89.6	93.2	96.8	100.4	104.0	107.6	111.2	114.8	118.4	122.0
0	58.6	60.9	64.3	65.5	67.7	69.9	72.1	74.3	76.4	78.5	80.6	82.6	84.7	86.6	88.6	90.5
5	59.6	62.1	65.6	67.0	69.3	71.7	74.0	76.4	78.6	80.9	83.1	85.3	87.5	89.9	92.1	94.2
10	60.7	63.3	66.9	68.4	70.8	73.3	75.8	78.2	80.7	83.0	85.5	88.0	90.3	92.8	95.1	97.6
15	61.7	64.5	68.1	69.6	72.2	74.8	77.4	80.0	82.6	85.2	87.8	90.2	92.8	95.4	98.0	
20	62.7	65.6	69.4	70.9	73.6	76.3	79.2	81.8	84.5	87.1	89.8	92.5	95.2	97.8		
25	63.8	66.7	70.5	72.2	75.1	77.8	80.6	83.4	86.2	89.0	91.8	94.6	97.4			
30	64.8	67.6	71.7	73.4	76.3	79.2	82.1	84.9	87.8	90.8	93.6	96.6	99.4			
35	65.6	68.6	72.7	74.6	77.5	80.5	83.5	86.4	89.4	92.4	95.3	98.3				
40	66.7	69.6	73.8	75.7	78.8	81.8	84.8	87.8	90.9	94.0	97.0					
45	67.5	70.6	74.8	76.8	79.9	83.0	86.1	89.2	92.3	95.4	98.6					
50	68.4	71.5	75.8	77.8	81.1	84.1	87.4	90.5	93.7	96.9						
55	69.3	72.4	76.7	78.8	82.1	85.3	88.5	91.9	95.1	98.3						
60	70.1	73.3	77.7	79.8	83.2	86.4	89.8	93.1	96.3	99.6						
65	70.9	73.8	78.6	80.9	84.2	87.5	90.8	94.1	97.5							
70	71.7	75.0	79.5	81.7	84.9	88.6	91.9	95.3	98.6							
75	72.4	75.9	80.3	82.7	86.1	89.6	92.9	96.4								
80	73.2	76.7	81.2	83.6	87.1	90.4	93.9	97.4								
85	74.0	77.4	82.0	84.5	88.0	91.5	94.9	98.5								
90	74.7	78.2	82.9	85.3	88.9	92.3	95.9	99.4								
95	75.5	78.9	83.6	86.1	89.6	93.2	96.8									
100	76.1	79.7	84.4	86.9	90.5	94.1	97.7									

Temperature	Category	Risk level
77° to 81.9°F (25° to 27.7°C)	Caution	Possible fatigue with prolonged exposure
82° to 84.9°F (27.8° to 29.4°C)	Extreme caution	Heat-related illness possible with long exposure
85° to 88.9°F (29.5° to 31.6°C)	Danger	Heat stroke possible, heat-related illness likely
≥ 89°F (≥ 31.7°C)	Extreme danger	High risk of heat stroke

Wet bulb globe temperature based on temperature and humidity, assuming a clear sky (maximum solar load) and atmospheric pressure of 1 ATA (760 mm Hg).

Adapted with permission from Ariel's Checklist. WBGT chart. https://arielschecklist.com/wbgt-chart. Accessed September 13, 2018.

ตารางที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ของความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) และอุณหภูมิภาวะแวดล้อม (°F) กับระดับความเสี่ยงการเกิดความเจ็บป่วยอันเนื่องจากความร้อน โดยใช้แถบสี เขียว เหลือง แดง และดำแทน ระวัง ระวังอย่างสูง อันตราย และอันตรายสูง ตามลำดับ

ภาวะแทรกซ้อนจากภาวะฮีทสโตรก (Complications of heat stroke)

ภาวะแทรกซ้อนของภาวะฮีทสโตรกทำให้เกิดความเสียหายของระบบประสาทส่วนกลาง ระบบหัวใจและหลอดเลือด เกิดความผิดปกติของหัวใจ เช่น หัวใจเต้นผิดจังหวะ (arrhythmia) กล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือด (myocardial infarction) ภาวะน้ำท่วมปอด (pulmonary edema) การแข็งตัวของเลือดผิดปกติ

(coagulopathy) การบาดเจ็บของตับพบได้บ่อย นำไปสู่ภาวะตัวเหลืองตาเหลือง (jaundice) และการเกิดกล้ามเนื้อลายสลายตัวเฉียบพลัน (rhabdomyolysis) และภาวะไมโอโกลบินยูเรีย (myoglobinuria) และการบาดเจ็บของไต (renal injury) ดังตารางที่ 7

Organ system	Manifestations in heat stroke
Central nervous	Confusion, seizure, coma
Respiratory	Cardiogenic or noncardiogenic pulmonary edema, ARDS
Hepatic	Liver-enzyme elevation, acute liver failure
Renal	Acute kidney injury, acid–base disturbances, electrolyte disturbances
Hematologic	DIC
Musculoskeletal	Rhabdomyolysis

ARDS, acute respiratory distress syndrome; DIC, disseminated intravascular coagulation.

ตารางที่ 7 แสดงอาการแสดงของระบบประสาท ระบบหายใจ ตับ ไต ระบบเลือดและกล้ามเนื้อในผู้ป่วยฮีทสโตรก ยกเว้นระบบหัวใจและหลอดเลือด

ผลกระทบของฮีทสโตรกต่อระบบประสาทส่วนกลาง (Impact of heat stroke on central nervous system dysfunction)

ผู้ป่วยฮีทสโตรกที่พบการเปลี่ยนแปลงของระดับความรู้สึกตัว ณ เวลาที่เข้ารับการรักษาในโรงพยาบาล มีโอกาสที่จะพบความผิดปกติสืบเนื่องของระบบประสาทส่วนกลาง และใช้เวลาในการลดอุณหภูมิแกนกายลงเพื่อให้ถึงอุณหภูมิเป้าหมายนานขึ้น นากามูระและคณะ รายงานพบความผิดปกติสืบเนื่องของระบบประสาทส่วนกลาง (central nervous system sequelae) 22 ราย จากผู้ป่วยเจ็บป่วยที่เกี่ยวเนื่องกับความร้อน (heat-related illnesses) จำนวน 1441 ราย คิดเป็นร้อยละ 1.5

ผลกระทบของฮีทสโตรกต่อระบบหัวใจและหลอดเลือด (Impact of heat stroke on the cardiovascular system)

ภาวะฮีทสโตรก หัวใจต้องทำงานหนักเพิ่มขึ้นอย่างมาก ผู้ป่วยที่มีโรคประจำตัวของระบบหัวใจและหลอดเลือดจะมีการทำงานของระบบหัวใจที่ไม่สมบูรณ์ (compromised) การระบายความร้อนของร่างกายเกินความสามารถในการตอบสนองของหัวใจ ส่งผลให้ภาวะแทรกซ้อนของหัวใจเกิดขึ้นตามมาได้ง่าย ได้แก่ หัวใจเต้นผิดจังหวะ (arrhythmias) กล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือด (myocardial ischemia) ภาวะหัวใจล้มเหลว (heart failure) ภาวะไหลเวียนโลหิตล้มเหลว (circulatory collapse) ช็อก (shock) และการเสียชีวิตฉับพลัน (sudden death)[23] ดังตารางที่ 8

Category	Manifestations in heat stroke
Tachyarrhythmias	Sinus tachycardia, atrial fibrillation, SVT
Conduction system impairment	PR-interval prolongation, intraventricular conduction delay, LBBB, RBBB, QT-interval prolongation
Ischemic changes	Nonspecific ST and T wave changes, ischemic ST depressions or elevations, troponin elevation, regional wall-motion abnormalities
Myocardial impairment	Congestive heart failure, stress-induced cardiomyopathy, cardiogenic shock
Vascular/hemodynamic changes	Decreased SVR*, hypotension, decreased CVP

CVP, central venous pressure; LBBB, left bundle branch block; RBBB, right bundle branch block; SVR, systemic vascular resistance, SVT, supraventricular tachycardia.

ตารางที่ 8 แสดงอาการแสดงความผิดปกติของระบบหัวใจและหลอดเลือดเมื่อเกิดภาวะฮีทสโตรก (cardiac manifestations on heat stroke)

หัวใจเต้นผิดจังหวะ (Arrhythmias)

หัวใจเต้นเร็วกว่าปกติ (sinus tachycardia) เป็นอาการแสดงของหัวใจเบื้องต้นที่พบบ่อยในผู้ป่วยฮีทสโตรกเพื่อตอบสนองต่อภาวะขาดน้ำ และการกระตุ้นของระบบประสาทอัตโนมัติซิมพาเทติก เพื่อเพิ่มการสูบฉีดโลหิตซึ่งเป็นหัวใจของกลไกการระบายความร้อนของร่างกาย ภาวะหัวใจเต้นเร็ว (tachyarrhythmias) อื่น ๆ เช่น ภาวะหัวใจห้องบนสั่นพลิ้ว (atrial fibrillation) และภาวะหัวใจห้องบนเต้นเร็วผิดปกติ (supraventricular tachycardia) พบได้บ่อยเช่นกัน ส่งผลลบทำให้หัวใจสูบฉีดโลหิต (cardiac output) ได้ลดลง ในรายที่เกิดฮีทสโตรกรุนแรง อาจก่อให้เกิดภาวะหัวใจห้องล่างเต้นเร็วผิดปกติ (ventricular tachyarrhythmias) และภาวะหัวใจหยุดเต้น ซึ่งทำให้เกิดการเสียชีวิตได้[24]

คลื่นไฟฟ้าหัวใจผิดปกติ (Conduction disturbances)

การนำกระแสไฟฟ้าหัวใจผิดปกติ ได้แก่ PR prolongation, intraventricular conduction delay, and right and left bundle branch blocks สามารถเกิดขึ้นได้ QT prolongation พบได้บ่อย มักสัมพันธ์กับการเสียสมดุลของสารน้ำและอิเลคโตรไลท์ (electrolyte disturbances)

กล้ามเนื้อหัวใจบาดเจ็บหรือกล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือด (Myocardial injury/ischemia)

กระบวนการพยาธิสรีระ (pathophysiology) ของโรคกล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือดในผู้ป่วยฮีทสโตรกซึ่งอยู่ภายใต้ภาวะเค้นจากความร้อนจัด (thermal stress) ร่างกายต้องการ

ให้หัวใจสูบฉีดโลหิต (cardiac output) เพิ่มมากขึ้น ผู้ป่วยส่วนใหญ่เป็นผู้สูงอายุ ซึ่งมีโรคประจำตัวเกี่ยวเนื่องกับระบบหัวใจและหลอดเลือดอยู่ก่อนหน้า เช่น ภาวะกล้ามเนื้อหัวใจห้องล่างซ้ายหนาตัว (ventricular hypertrophy) โรคลิ้นหัวใจทำงานผิดปกติ (valvular heart disease) และโรคหลอดเลือดหัวใจตีบ (coronary artery disease) ผู้ป่วยเหล่านี้มีความไว (susceptible) ต่อการเกิดภาวะกล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือดหรือกล้ามเนื้อหัวใจตายได้ง่ายมากขึ้นจากภาวะอุปทานเลือดและออกซิเจนขาดแคลนไม่สมดุลกับความต้องการ (supply-demand mismatch) ของกล้ามเนื้อหัวใจ ภาวะร่างกายขาดน้ำซ้ำเติมให้ภาวะอุปทานขาดแคลนไม่สมดุลกับความต้องการ (supply-demand mismatch) รุนแรงมากขึ้น นอกจากนี้ยังมีผลของพิษทำลายเซลล์ (Cytotoxic effects) ร่วมด้วย พบอุบัติการณ์การเกิดความผิดปกติของ ST segment ในคลื่นไฟฟ้าหัวใจสูงถึงร้อยละ 50 (ST-segment deviations) พบว่าสัมพันธ์กับภาวะหัวใจขาดเลือดร้อยละ 50 โดยตรวจพบความผิดปกติของ ST segment ตั้งแต่ 2 lead ติดต่อกัน และตรวจพบการเพิ่มขึ้นของเอนไซม์หัวใจ (cardiac enzyme elevation)[25,26] และพบการเคลื่อนไหวของผนังหัวใจผิดปกติ (wall-motion abnormalities) ร้อยละ18[27] ส่วนที่เหลือยังไม่พบสาเหตุที่แน่ชัด ผู้ป่วยฮีทสโตรกที่มีอาการรุนแรงพบการเพิ่มขึ้นของสารในกระแสโลหิตที่บ่งบอกถึงการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อหัวใจ (cardiac biomarkers) ที่เกิดเนื่องจากภาวะกล้ามเนื้อหัวใจตายเฉียบพลัน เพิ่มความเสี่ยงของการเสียชีวิตอย่างมีนัยสำคัญ[28]

จากการเกิดคลื่นความร้อน (heat wave) ที่ปารีส ในปี 2003 ผู้ป่วยฮีทสโตรกร้อยละ 35 ตรวจพบ โทรโปนิน ไอ (troponin I; cTnI) เพิ่มสูงขึ้น พบสูงขึ้นปานกลางร้อยละ 11.2 และพบสูงขึ้นมากร้อยละ 6.65[29] ผู้ป่วยที่พบโทรโปนินเพิ่มสูงขึ้นมากมีอัตรารอดชีวิต 1 ปี ที่ร้อยละ 24.1 เปรียบเทียบกับผู้ป่วยฮีทสโตรกที่มีค่าโทรโปนินปกติ มีอัตรารอดชีวิต 1 ปี ที่ร้อยละ 58 Mimish ในปี ค.ศ. 2012 รายงานพบการเปลี่ยนแปลงคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (EKG) ชนิดภาวะกล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือด (ischemic) ในผู้ป่วยฮีทสโตรก ร้อยละ 44.44 (4 ใน 9 ราย) และมีประวัติกล้ามเนื้อหัวใจห้องล่างด้านซ้ายโต (left ventricular hypertrophy)[26]

ภาวะหัวใจล้มเหลว (Heart failure)

ผู้ป่วยฮีกสโตรก หัวใจห้องล่างด้านซ้ายจะทำงานหนักเพิ่มขึ้น (hyperdynamic left ventricle) เพื่อตอบสนองความต้องการของร่างกายจากภาวะ supply-demand mismatch ทำให้เกิดพยาธิสภาพของกล้ามเนื้อหัวใจเกิดภาวะหัวใจขาดเลือด (ischemia) หัวใจบีบตัวของลดลงอย่างเฉียบพลัน เชื่อว่าสาเหตุเกิดจากฮอร์โมนแคทีโคลามีน (Catecholamine) ที่สูงขึ้นเฉียบพลันจากความเครียด (stress-induced cardiomyopathy)[30] และอาจนำไปสู่การเกิดภาวะหัวใจล้มเหลวตามมา

ผู้ป่วยฮีทสโตรกที่ระบบไหลเวียนโลหิตล้มเหลวส่วนใหญ่พบอาการช็อกจากภาวะขาดน้ำและการขยายตัวของหลอดเลือด (distributive/hypovolemic shock) หัวใจต้องทำงานหนักมากขึ้นในการสูบฉีดเลือดออกจากหัวใจต่อนาที (high cardiac index) ผู้ป่วยฮีทสโตรกส่วนน้อยอยู่ในภาวะหัวใจ สูบฉีดโลหิตต่ำ (hypodynamic state) หัวใจสูบฉีดเลือดออกจากหัวใจต่อนาทีได้ลดลง (reduced cardiac index) แต่ความต้านทานในระบบไหลเวียนโลหิตยังคงเพิ่มสูงขึ้น ความผิดปกติในลักษณะเช่นนี้มักพบในผู้มีโรคประจำตัวของระบบหัวใจและหลอดเลือดที่สัมผัสกับคลื่นความร้อนอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน (prolonged period) พบว่าผู้ป่วยฮีทสโตรกที่มีภาวะการไหลเวียนโลหิตและการสูบฉีดโลหิตต่ำมีอัตราการเสียชีวิตเพิ่มสูงขึ้น[31]

การเสียชีวิตเฉียบพลัน (Sudden death)

สาเหตุการเสียชีวิตส่วนใหญ่ระหว่างการสัมผัสคลื่นความร้อน ไม่ได้มีสาเหตุโดยตรงมาจากอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น แต่มีสาเหตุมาจากการทำงานผิดปกติของระบบหัวใจและหลอดเลือด (cardiovascular dysfunction)

ในปี ค.ศ. 1995 มีคลื่นความร้อนที่ชิคาโก รายงานพบการเสียชีวิตสูงกว่า 241 รายต่อวัน ผู้เสียชีวิตร้อยละ 94 พบมีโรคประจำตัวของระบบหัวใจและหลอดเลือด[32]

ผลกระทบของฮีทสโตรกต่อการเกิดความผิดปกติจากการแข็งตัวของเลือด (Impact of heat stroke on coagulation disorder)

การเกิดความเสียหายของเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือดโดยตรงจากความร้อน ร่วมกับภาวะการอักเสบแพร่กระจายทั่วไปในร่างกาย ทำให้เกิดการบาดเจ็บของเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือดชั้นใน (vascular endothelium) เหนี่ยวนำให้เกิดการเกาะตัวของเกล็ดเลือด (platelet aggregation) ทำให้เกิดลิ่มเลือดขนาดเล็ก (microthromboses) ในหลอดเลือด[5] นอกจากนี้อุณหภูมิแกนกายที่สูงยังทำให้ เมกาคาริโอไซท์ (megakaryocyte) ในไขกระดูกไวต่อการลดการผลิตเกล็ดเลือด (susceptibility) ส่งผลให้ปริมาณเกล็ดเลือดลดลงอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดภาวะการแข็งตัวของเลือดผิดปกติตามมา

การสร้างไฟบริน (fibrin formation) เป็นอาการแสดงของภาวะลิ่มเลือดแพร่กระจายในหลอดเลือด (disseminated intravascular coagulation: DIC) เป็นภาวะที่ระบบการแข็งตัวของเลือดถูกกระตุ้นให้เกิดขึ้นอย่างผิดปกติทั่วร่างกาย เกิดลิ่มเลือดในหลอดเลือดขนาดเล็ก หากรุนแรงจะทำให้เกิดการอุดตันของหลอดเลือดทำให้ปริมาณเลือดที่ไปเลี้ยงอวัยวะภายใน

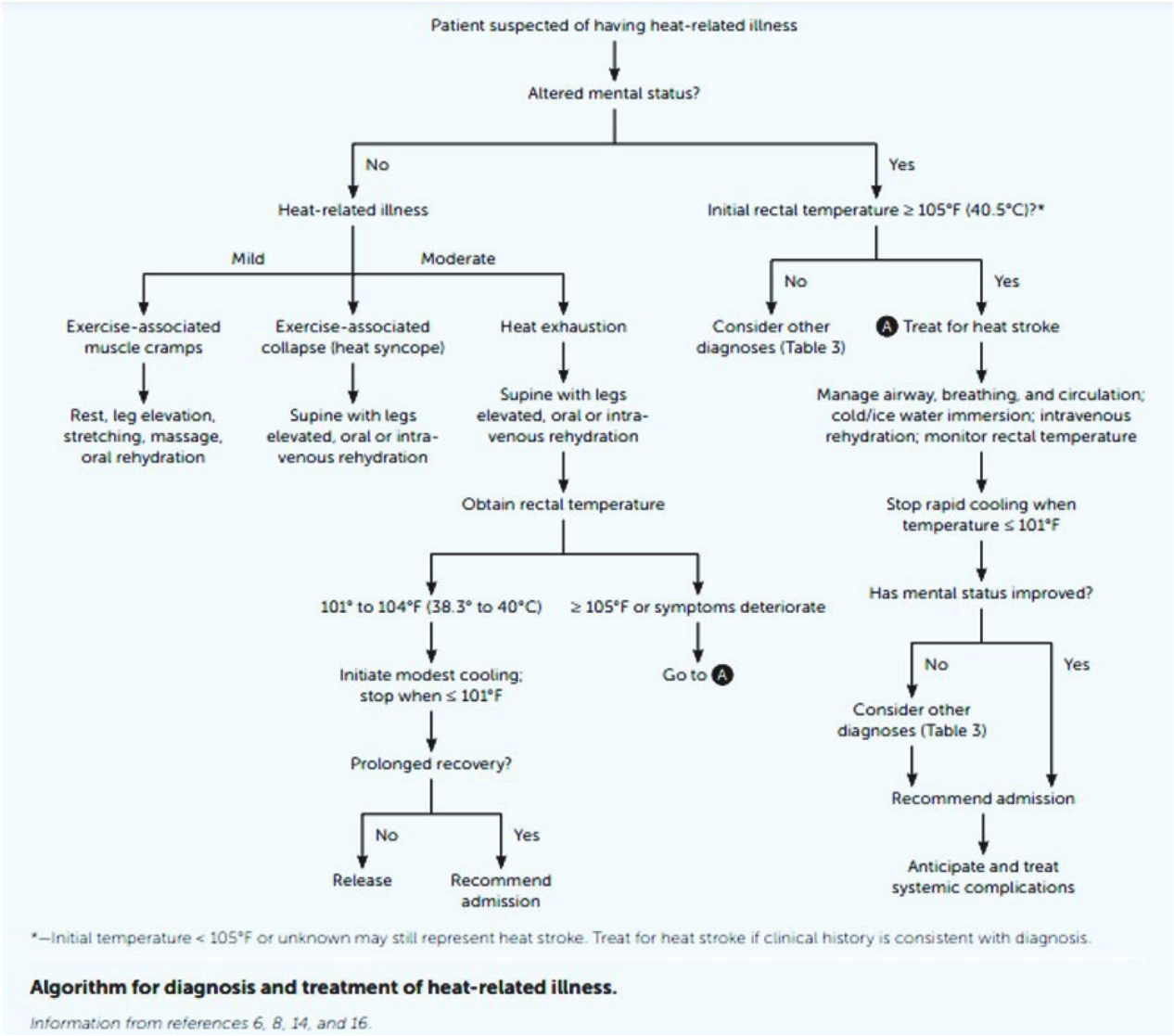
ช่องท้อง (visceral perfusion) ลดลง ร่วมกับการเกิดลัดวงจร (shunt) ของเลือดจากระบบหัวใจและหลอดเลือด (central circulation) ถูกส่งไปเลี้ยงผิวหนังและกล้ามเนื้อเพิ่มมากขึ้น นำไปสู่การเกิดการทำงานของอวัยวะล้มเหลว (organ failure)

ผลกระทบของฮีทสโตรกต่อการเกิดไตวาย (Impact of heat Stroke on Renal Failure)

ไตวาย เป็นภาวะที่ไตสูญเสียความสามารถในการกรองของเสียออกจากเลือด จากการมีความดันโลหิตต่ำอย่างรุนแรงหรือภาวะช็อกจากการขาดน้ำเป็นระยะเวลานาน หรือภายหลังการเกิดกล้ามเนื้อลายสลายตัวเฉียบพลัน (rhabdomyolysis) อย่างรุนแรง เบื้องต้นระดับไมโยโกลบิน (myoglobin) ในกระแสเลือดและปัสสาวะอาจยังปกติอยู่ แต่มีความสำคัญที่จะต้องติดตามระดับไมโยโกลบินในกระแสเลือดและปัสสาวะเป็นระยะอย่างต่อเนื่อง ไตวายเกิดจากการสะสมของไมโยโกลบินที่หลอดไต (renal tubules)[33]

การดูแลรักษาผู้ป่วยฮีทสโตรก (Treatment Considerations of Heat Stroke)

ฮีทสโตรกเป็นภาวะฉุกเฉินทางการแพทย์ ผู้ป่วยจะมีอุณหภูมิแกนกายสูงตั้งแต่ 40.5 องศาเซลเซียส (105 องศาฟาเรนไฮ) พบความผิดปกติของระบบประสาทส่วนควบคุมอุณหภูมิร่างกาย ส่งผลให้มีการบาดเจ็บและการทำงานผิดปกติของหลายอวัยวะ ผู้ป่วยฮีทสโตรกมีความจำเป็นต้องได้รับการตรวจวินิจฉัย ดูแลรักษาในโรงพยาบาล ติดตามอาการ และเฝ้าระวังภาวะแทรกซ้อนที่อาจเกิดขึ้นอย่างใกล้ชิด ดังแผนภูมิที่ 2 เป้าหมายหลักสำคัญ 2 ประการในการดูแลรักษาผู้ป่วยฮีทสโตรก คือการลดอุณหภูมิแกนกาย (body core temperature) ลงอย่างรวดเร็ว และการประคับประคองระบบการทำงานของอวัยวะต่าง ๆ ของร่างกาย[5]



แผนภูมิที่ 2 แสดง Algorithm ในการให้การวินิจฉัย และแนวทางการรักษาการเจ็บป่วยอันเกี่ยวเนื่องจากความร้อนและฮีทสโตรก

การลดอุณหภูมิแกนกายลงอย่างรวดเร็ว (Rapid cooling) ให้อุณหภูมิของร่างกายลดลงสู่เป้าหมายที่ 38.8 องศาเซลเซียส (101.8 ฟาเรนไฮต์) ภายใน 1 ชั่วโมง[34] โดยให้อุณหภูมิแกนกายลดลงเฉลี่ย 0.1 องศาเซลเซียสต่อนาที (average rate of 0.1 °C/ min) ยกเว้นในรายที่มีความจำเป็นต้องทำการกู้คืนชีพ (cardiopulmonary resuscitation)[35] ผู้ป่วยฮีทสโตรกที่อยู่ในภาวะโคม่าต้องได้รับการใส่ท่อทางหลอดลม (endotracheal intubation) ร่วมกับใช้เครื่องช่วยหายใจ (mechanical ventilation)

การลดอุณหภูมิร่างกายลงอย่างรวดเร็วเพียงวิธีเดียวก็สามารถแก้ไข (reverse) ภาวะโคม่าและการทำงานที่ผิดปกติของอวัยวะ(organ dysfunction) อันเกี่ยวเนื่องจากฮีทสโตรกให้กลับมาปกติได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผู้ป่วยที่ตอบสนองต่อการลดอุณหภูมิแกนกายดี อุณหภูมิแกนกายสามารถถูกทำให้ลดลงต่ำกว่า 39 องศาเซลเซียส ให้ผลการรักษาที่ดีเยี่ยม การลดอุณหภูมิของร่างกายแบ่งได้ 2 วิธี คือ การระบายความร้อนภายนอก และ การระบายความร้อนจากภายในกาย

การระบายความร้อนภายนอก (External cooling)

การลดอุณหภูมิของร่างกายโดยการระบายความร้อนภายนอกสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ การจุ่มน้ำหรือแช่น้ำเย็น (Ice water or cold water immersion) การประคบร่างกายด้วยน้ำแข็ง (application of ice packs) และการพัดหรือเป่าด้วยพัดลม (fanning) เป็นต้น วิธีการระบายความร้อนภายนอกที่มีประสิทธิภาพสูงสุดยังคงเป็นหัวข้อถกเถียงอยู่ พบว่าวิธีการระบายความร้อนโดยการระเหย (evaporative method) และการแช่จุ่มในน้ำเย็น (immersion method) ยังคงเป็นวิธีการที่ใช้ได้ผล[36,37] การระบายความร้อนโดยวิธีการระเหยต้องถอดเสื้อผ้าที่ไม่จำเป็นออก ปลดเสื้อผ้าที่รัดแน่นให้หลวม พ่นละอองน้ำเย็น (spraying) และหรือห่อคลุม (wrapping) ร่างกายผู้ป่วยด้วยผ้าห่มเย็น (cooling blanket) หรือผ้าชุบน้ำเย็น นำถุงน้ำแข็ง (ice packs) ว่างบริเวณรักแร้ ขาหนีบ และคอ ร่วมกับการช่วยโบกพัด การระบายความร้อนด้วยการระเหยจะพบการหดตัวของหลอดเลือดที่ผิวหนังและอาการสั่นน้อยกว่าการปกคลุมร่างกายด้วยผ้าชุบน้ำเย็น[38,39]

การระบายความร้อนโดยวิธีการแช่ในน้ำเย็น (Immersion methods) เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ แต่มีความยุ่งยากในการจัดเตรียม ต้องจัดเตรียมอ่างแช่น้ำแข็ง (ice baths) ซึ่งอาจทำให้การเริ่มระบายความร้อนทำได้ล่าช้า การระบายความร้อนโดยวิธีการแช่ในน้ำเย็น มีข้อจำกัดในผู้ป่วยที่ต้องทำการกู้ฟื้นคืนชีพ ซึ่งจำเป็นต้องติดตามคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (EKG) ความเย็นการกระตุ้นระบบประสาทพาราซิมพาเทติก (parasympathetic; vagal stimulation) ทำให้การนำไฟฟ้าหัวใจ (impulses) ผ่านบริเวณ AV node ช้าลง อาจทำให้เกิด AV block เป็นผลให้อัตราการเต้นของหัวใจช้าลง[38]

การทำให้อุณหภูมิร่างกายลดลง หลอดเลือดจะเกิดการหดตัว ทำให้ความดันโลหิตที่ต่ำของผู้ป่วยเพิ่มสูงขึ้น อาจพบร่างกายผู้ป่วยมีอาการสั่น (Shivering) ตอบสนองต่ออุณหภูมิร่างกายที่กำลังลดลง เพื่อสร้างความร้อนเพิ่มให้กับร่างกาย ส่งผลให้อุณหภูมิแกนกายลดได้ช้าลง อาการสั่นสามารถแก้ได้โดยการให้ยาไดอะซีแพม (diazepam) หรือ คลอโปมาซีน (chlorpromazine)

Broessner และคณะ พบว่าการลดอุณหภูมิของร่างกายอย่างจริงจังด้วยวิธีการอนุรักษ์ (conventional temperature control methods) โดยการลดอุณหภูมิที่พื้นผิวจากการระบายความร้อนภายนอกในช่วง 20 ชั่วโมงแรก มีประสิทธิผลที่จำกัดล้มเหลวในการลดอุณหภูมิแกนกาย[40] เนื่องจากวิธีดังกล่าวทำให้หลอดเลือดที่ผิวหนังเกิดการหดตัว และก่อให้เกิดอาการหนาวสั่น (shivering) ที่ไม่พึงประสงค์[41]

การระบายความร้อนจากภายในกาย (Internal Cooling)

การระบายความร้อนจากภายในกาย ถูกใช้ในการรักษาภาวะอุณหภูมิร่างกายร้อนเกิน (hyperthermia) เมื่อการระบายความร้อนจากภายนอกไม่ได้ผล ด้วยวิธีการล้าง (irrigation) อวัยวะภายในช่องท้องด้วยน้ำเย็น (cooling Solution) ผ่านสายส่วนกระเพาะอาหาร (stomach) ทวารหนัก (rectum) หรือช่องท้อง (peritoneal) หรือให้สารน้ำที่ถูกทำให้เย็นทางหลอดเลือดดำ อาจพิจารณาการใช้เครื่องปอดและหัวใจเทียม (cardiopulmonary bypass) เสริมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการระบายความร้อน การระบายความร้อนจากภายในกายเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพมากกว่าการระบายความร้อนจากภายนอก(วิธีการอนุรักษ์) ในการลดอุณหภูมิแกนกายสำเร็จ[42]

ยาแก้ปวดลดไข้ถูกใช้อย่างกว้างขวางในการลดไข้ (fever) แต่การนำยาลดไข้หรือ NSAIDs มาใช้รักษาฮีทสโตรกยังเป็นประเด็นที่ถกเถียงกันอยู่[43] แม้นความจริงจะพบว่า pyrogenic cytokines มีส่วนในการทำให้อุณหภูมิของร่างกายเพิ่มสูงขึ้น แต่ภาวะตัวร้อนเกิน (hyperthermia) ในฮีทสโตรกแตกต่างจากการเป็นไข้ เนื่องจากมีสาเหตุมาจากการทำงานผิดปกติระบบประสาท ส่วนไฮโปทาลามัสซึ่งเป็นศูนย์ควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย ดังนั้นการใช้ยาลดไข้ (antipyretics) เช่น เอสไพริน หรือ NSAIDs นอกจากจะไม่ก่อให้เกิดประโยชน์แล้วยังอาจก่อโทษ สามารถทำให้ผู้ป่วยฮีทสโตรกแย่ลง[44] ทำให้เกิดการแข็งตัวของเลือดผิดปกติ (coagulopathy) และการทำงานของตับผิดปกติ (liver dysfunction)[45] ดังนั้นแนะนำให้ใช้มอร์ฟีน หรืออนุพันธ์ของมอร์ฟีน ในการควบคุมอาการเจ็บปวดที่เกิดขึ้น

ข้อควรพิจารณาการดูแลรักษาอื่น ๆ (The Other Management Considerations)

ผู้ป่วยควรได้รับการสนับสนุนและช่วยเหลือการหายใจ เช่น การให้ออกซิเจนเสริม และการใส่ท่อช่วยหายใจเมื่อมีข้อบ่งชี้ สถานะภาพการทำงานของปอดและหัวใจต้องได้รับการประเมินและเฝ้าติดตามอย่างใกล้ชิด ติดตามค่าความดันโลหิต อัตราการเต้นของหัวใจ คลื่นไฟฟ้าหัวใจ (echocardiography) ความอิ่มตัวของออกซิเจนในกระแสเลือด อุณหภูมิแกนกาย และระดับความรู้สึกตัว

ทำการเปิดเส้นทางหลอดเลือดดำเพื่อให้น้ำเกลือและยา ให้สารน้ำทดแทน (intravenous fluid resuscitation) เพื่อรักษาความดันโลหิตเฉลี่ย (mean arterial pressure) ให้สูงกว่า 65 มิลลิเมตรปรอท สารน้ำที่ถูกใช้ส่วนใหญ่คือ 5%Dextrose in Normal Saline หรือ 5%Dextrose in Normal Saline/2 ในผู้ป่วยที่มีความดันโลหิตต่ำกว่าปกติ ให้ทำการให้สารน้ำปริมาณหนึ่งอย่างรวดเร็ว (fluid challenge) อาจพิจารณาให้ยากระตุ้นการบีบตัวของหลอดเลือด (vasopressor) เสริม ติดตามระบบไหลเวียนเลือดด้วยวิธีที่ล่วงล้ำ (invasive hemodynamic monitoring) และติดตามปริมาณปัสสาวะ (Urine output) ผู้ป่วยที่เกิดอาการหัวใจล้มเหลว (heart failure) พิจารณาการให้ยาช่วยการบีบตัวของหัวใจ (inotropic support) ร่วมด้วย

ทำการตรวจทางห้องปฏิบัติการ ได้แก่การตรวจความสมบูรณ์ของเม็ดเลือดเลือด (CBC) ตรวจการทำงานของไต (BUN/Cr) ตรวจการทำงานของตับ (LFT) ตรวจเอนไซม์หัวใจ (Cardiac enzyme) ที่บ่งบอกถึงการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อหัวใจที่เกิดเนื่องจากภาวะหัวใจขาดเลือด และทำการตรวจติดตามอย่างต่อเนื่องเป็นระยะ (serial biochemical monitor) เพื่อประเมินความเปลี่ยนแปลง ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 แสดงการส่งตรวจทางห้องปฏิบัติการที่สำคัญในผู้ป่วยฮีทสโตรก

การส่งตรวจ (Test)	**อาการแสดงที่สัมพันธ์กับภาวะฮีทสโตรก (Findings related to heat stroke)**
Chest x-ray	Pulmonary edema, pulmonary congestion, adult respiratory distress syndrome
EKG	Conduction abnormalities, nonspecific ST-T wave changes, arrhythmias, myocardial infarction
ABG	Respiratory alkalosis, oxygenation status
Cardiac isoenzymes	Myocardial injury
CBC	Leukocytosis, elevated hematocrit
Fibrinogen, fibrin split products	Coagulopathy, disseminated intravascular coagulation
LDH, AST, ALT, CK, potassium, BUN	Elevated in renal or hepatic injury
Lactate	Commonly elevated in exertional heat stroke, predicts poor prognosis in classic heat stroke
Calcium, phosphorus, glucose	Decreased
Urinalysis	Myoglobin casts, red blood cells

EKG = electrocardiogram; ABG = arterial blood gas; CBC = complete blood count; LDH = lactate dehydrogenase; AST = aspartate aminotransferase; ALT = alanine aminotransferase; CK = creatine kinase; BUN = blood urea nitrogen.

ยังไม่มียาเฉพาะ ที่สามารถใช้ในการรักษาฮีทสโตรกได้อย่างได้ผล ที่น่าเชื่อถืออย่างมีนัยสำคัญ ยาที่ทำให้อาการฮีทสโตรกรุนแรงขึ้น ได้แก่ ยาขับปัสสาวะ (diuretics) ยาออกฤทธิ์ยับยั้งระบบเรนิน แองจิเท็นซิน (renineangiotensin system inhibitors) ควรงดไว้ก่อน

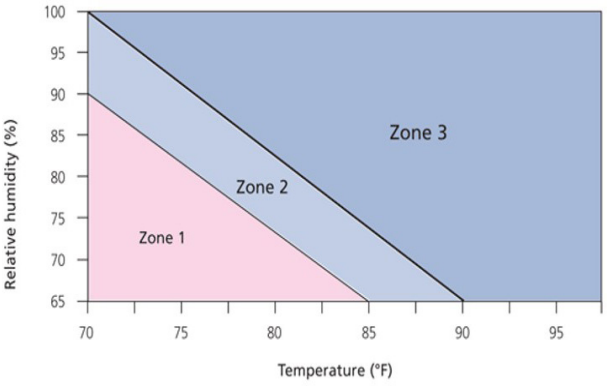
ผู้ป่วยฮีทสโตรก ภายหลังจากการได้รับอนุญาตให้กลับบ้าน ควรพักผ่อนให้เพียงพอ หลีกเลี่ยงการทำกิจกรรมอย่างน้อย 1 สัปดาห์ แล้วเริ่มกลับมาทำกิจกรรมปกติประจำวันอย่างค่อยเป็นค่อยไป จนสามารถทำกิจกรรมต่าง ๆ ได้ตามปกติใน 2-4 สัปดาห์[46] การฟื้นตัวอย่างสมบูรณ์อาจใช้เวลานาน 2 -12 เดือน ขึ้นอยู่กับความรุนแรงของโรค

การพยากรณ์โรค (Prognostic)

การพยากรณ์โรคของฮีทสโตรกประเมินได้จากหลายตัวบ่งชี้ ได้แก่ ความล่าช้าในการระบายความร้อน (Delay in cooling) ระยะเวลาการไม่รู้สึกตัว (Coma) นานกว่า 2 ชั่วโมง ระดับครีเอทีน ไคเนส (creatine kinase;CK) แลคเตทดีไฮโดร จิเนส (lactate dehydrogenase; LDH) อัลคาไลน์ ฟอสฟาเตส (alkaline phosphatase; ALP) ที่เพิ่มขึ้น และระดับแอสพาเตท ทานอะมิเนส (aspartate transaminase; AST) ที่เพิ่มขึ้น >1,000 U per L (16.67 μkat per L) ใน 24 ชั่วโมงแรก ความดันโลหิตต่ำกว่าปกติ (Hypotension) ระยะเวลาที่เลือดเริ่มแข็งตัว โปรทรอมบิน นานขึ้น (Prolongation of prothrombin time)[47,48]

การป้องกันการเจ็บป่วยอันเกี่ยวเนื่องจากความร้อน (Prevention of Heat-Related Illness)

ภาวะอากาศร้อนจัดเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดการเจ็บป่วยเนื่องจากความร้อน การป้องกันยังคงเป็นหลักสำคัญมากกว่าการรักษา[49] การตระหนักรู้ถึงปัจจัยเสี่ยงจะช่วยลดอุบัติการณ์การเกิดการเจ็บป่วยเนื่องจากความร้อนได้ ได้แก่ การสังเกตสภาวะความร้อนของอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ การเลือกใส่เสื้อผ้าที่เหมาะสม ควบคุมระยะเวลาการทำกิจกรรมกลางแจ้ง การสูญเสียเหงื่อและการดื่มน้ำมาก ฯลฯ ความเสี่ยงของการบาดเจ็บจากความร้อนสามารถถูกพยากรณ์ได้โดยใช้ Heat Stress Danger Chart ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนของอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ จำแนกความเสี่ยงเป็น 3 Zone คือ zone 1 สีชมพู ความเสี่ยงต่ำ zone 2 สีฟ้า ความเสี่ยงปานกลาง zone 3 สีฟ้าเข้ม ความเสี่ยงสูง ดังกราฟที่ 2



กราฟที่ 2 แสดง Heat Stress Danger Chart ซึ่งใช้พยากรณ์ความเสี่ยงของการบาดเจ็บจากความร้อนโดยอาศัยสัมพันธ์ระหว่างความร้อนของอากาศและความชื้นสัมพัทธ์

บุคคลที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดการเจ็บป่วยที่เกี่ยวเนื่องจากความร้อนควรป้องกันเป็นพิเศษ และแนะนำให้ปฏิบัติตัวดังต่อไปนี้

1. การหลีกเลี่ยงกิจกรรมในช่วงเวลาที่อากาศร้อนจัดเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการลดอุบัติการณ์การเกิดการเจ็บป่วยอันเกี่ยวเนื่องจากความร้อน ในการวิ่งมาราธอนแนะนำให้เลือกงานวิ่ง และเริ่มออกวิ่งในพื้นที่ที่อุณหภูมิแวดล้อมไม่เกิน 21 องศาเซลเซียส เพื่อลดความเสี่ยงด้านสุขภาพอันเนื่องจากความร้อนในระหว่างการแข่งขัน[50] ในการวิ่งมาราธอน เหตุร้ายแรงอันเกี่ยวเนื่องจากความร้อนส่วนใหญ่เกิดในช่วง 10 กิโลเมตรสุดท้าย ระหว่างกิโลเมตรที่ 32-42 กิโลเมตร ส่วนกลุ่มนักวิ่งฮาฟมาราธอน เหตุการณ์ไม่พึงประสงค์มักเกิดขึ้นระหว่างกิโลเมตรที่ 16-21[51]

2. ให้สวมใส่เสื้อผ้าสีอ่อน โปร่งสบาย (light clothing) ระบายความร้อนได้ดี

3. ดื่มน้ำให้เพียงพอ (Hydration) ปริมาณน้ำในร่างกายที่เพียงพอมีความสำคัญต่อการป้องกันการเจ็บป่วยจากความร้อน พยายามดื่มน้ำและรักษาสมดุลของน้ำ แนะนำให้ดื่มน้ำ 450 มิลลิลิตร ก่อนเริ่มทำกิจกรรมหรือเล่นกีฬาเพื่อเป็นน้ำสำรอง และดื่มน้ำอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเพื่อรักษาสมดุลของน้ำ ทำให้ภาวะขาดน้ำเกิดขึ้นช้าลง ดื่มน้ำบ่อย ๆ ก่อนที่จะมีอาการกระหายน้ำ เนื่องจากการกระหายน้ำจะเกิดขึ้นเมื่อร่างกายอยู่ในภาวะขาดน้ำแล้วร้อยละ 3 ของปริมาณน้ำในร่างกาย แนะนำให้ดื่มน้ำ 224 มิลลิลิตร ทุก 20 นาที ระหว่างทำกิจกรรม เป้าหมายเพื่อไม่ให้รู้สึกกระหายน้ำในระหว่างการทำกิจกรรม ควรชั่งน้ำหนักก่อนและหลังทำกิจกรรม หรือเล่นกีฬา น้ำหนักที่ลดลงทุก 1 กิโลกรรม ควรดื่มน้ำทดแทน 1 ลิตร สามารถดื่มน้ำหวาน หรือเครื่องดื่มเกลือแร่ที่ไม่หวานมากทดแทนการดื่มน้ำได้

4. ถ้าความร้อนของภาวะแวดล้อมภายนอกสูงกว่าอุณหภูมิแกนกาย การระบายความร้อนด้วยพัดลมจะไม่มีประสิทธิภาพ การอาบน้ำเย็น (cool shower or bath) ร่วมกับใช้พัดลมทำให้การระบายความร้อนมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

5. ให้อยู่ในห้องที่มีเครื่องปรับอากาศทำความเย็น (cooling air condition) ถ้าอยู่ในบ้านที่ไม่มีเครื่องปรับอากาศให้ย้าย อพยพ ไปหาสถานที่มีเครื่องปรับอากาศ เช่น ห้างสรรพสินค้า หรือโรงแรมเป็นต้น

6. เตรียมความพร้อมและปรับสภาพร่างกายให้ชินกับความร้อน (Acclimatization) เป็นกระบวนการสำคัญในการป้องกันการเจ็บป่วยอันเกี่ยวเนื่องจากความร้อน ร่างกายสามารถเรียนรู้และปรับตัวที่จะทำงานให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นในภาวะอากาศร้อน โดยที่ทำให้อุณหภูมิแกนกายเพิ่มขึ้นเพียงน้อยลง การทำกิจกรรมในภาวะแวดล้อมที่ร้อนเป็นประจำ

สม่ำเสมอ ช่วยส่งเสริมกระบวนการการปรับตัวให้ชินกับสภาพแวดล้อม[52,53] ผู้ใหญ่อาจต้องทำกิจกรรมซ้ำ 4-7 ครั้ง ครั้งละ 1-4 ชั่วโมง เด็กอาจต้องทำกิจกรรมซ้ำมากกว่าผู้ใหญ่ในการปรับตัว[54]

ฮีทช็อคโปรตีน (Heat shock proteins; HSP) เป็นกลุ่มของโปรตีนที่ร่างกายผลิตจากเซลล์เพื่อตอบสนองต่อสภาวะเครียด (stressful conditions) เนื่องจากความร้อน ฮีทช็อคโปรตีน 70 (HSP70) ช่วยทำให้ร่างกายปรับตัว เพิ่มความทนทานต่อความร้อน (acquired heat tolerance) ภายใต้สภาวะเครียดจากความร้อนจัด (heat stress) ทำให้ระดับ HSP70 เพิ่มสูงขึ้นมาก ช่วยป้องกันการเกิดการทำงานของอวัยวะผิดปกติ (organ dysfunction)[55] และลดอัตราการเสียชีวิตของหนูทดลอง[56]

การปรับตัวให้ชินกับภาวะอากาศร้อนให้ได้ผลดีที่สุดต้องทำในช่วงเวลาที่มีอากาศร้อน แนะนำให้เปลี่ยนเสื้อผ้าที่สวมใส่ที่ชุ่มเหงื่อด้วยเสื้อผ้าที่แห้งบ่อย ๆ การฝึกซ้อมหรือการทำกิจกรรมซ้ำเพิ่มประสิทธิภาพของร่างกาย ทำให้ร่างกายแข็งแรงขึ้น ทนทานขึ้น ร่างกายสามารถระบายความร้อนได้ดีขึ้น และการเมตาบอริสมของร่างกายเปลี่ยนแปลงดีขึ้น ซึ่งพบได้ในกลุ่มนักกีฬาที่ได้รับการฝึกฝนมาดี

สรุป (Conclusion)

อากาศร้อนจัดเป็นภัยเงียบที่ก่อให้เกิดอันตรายถึงแก่ชีวิตในช่วงฤดูร้อน ฮีทสโตรกเป็นภาวะฉุกเฉินทางการแพทย์แต่สามารถแก้ไขได้ถ้าได้รับการดูแลรักษาอย่างทันถ่วงที ระบบหัวใจและหลอดเลือดที่แข็งแรงมีความสำคัญยิ่งยวดต่อการรักษาสมดุลของความร้อน และอุณหภูมิแกนกาย ผู้มีโรคประจำตัวของระบบหัวใจและหลอดเลือด โดยเฉพาะในผู้สูงอายุเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดฮีทสโตรก ฮีทสโตรกส่งผลให้ระบบการทำงานของอวัยวะหลายอวัยวะล้มเหลว ในรายที่รุนแรงมากอาจเกิดหัวใจล้มเหลว ระบบไหลเวียนโลหิตล้ม และเสียชีวิตตามมาได้ การระบายความร้อน การลดอุณหภูมิ และการให้การดูแลประคับประคอง มีความสำคัญมากในการดูแลรักษาภาวะฮีทสโตรก การป้องกันยังคงเป็นหลักสำคัญมากกว่าการรักษา การตระหนักรู้ถึงปัจจัยเสี่ยง การเตรียมความพร้อมและปรับสภาพร่างกายให้ชินกับความร้อน และการหลีกเลี่ยงกิจกรรมในช่วงเวลาที่อากาศร้อนจัดจะช่วยลดอุบัติการณ์การเกิดการเจ็บป่วยเนื่องจากความร้อนได้

เอกสารอ้างอิง

1. Barrow WM, Clark AK. Heat-Related Illnesses. Am Fam Physician.1998;58(3):749-56.
2. Yankelson L, Sadeh B, Gershovitz L. Life-threatening events during endurance sports: is heat stroke more prevalent than arrhythmic death? J Am Coll Cardiol. 2014;64:463–9.
3. Centers for Disease Control and Prevention HEAT STRESS. Available from: https://www.cdc.gov/niosh/topics/heatstress/default.html
4. Shimazaki. Pathogenesis of heat stroke. 2nd ed. Tokyo: Health; 2017.
5. Bouchama A, Knochel JP. Heat stroke. N Engl J Med. 2002;346(25):1978-88. doi: 10.1056/NEJMra011089. Available from: https://www.nejm.org/doi/10.1056/NEJMra011089?url_ver=Z39.88-2003&rfr_id=ori:rid:crossref.org&rfr_dat=cr_pub%20%200pubmed
6. Epstein Y, Yanovich R. Heatstroke. N Engl J Med. 2019;380:2449-59.
7. Hifumi T, Kondo Y, Shimizu K, Miyake Y. Heat stroke. J Intensive Care. 2018;22(6):30. doi: 10.1186/s40560-018-0298-4.eCollection 2018. Available from: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29850022/.
8. Hifumi T, Kondo Y, Shimazaki J, Oda Y, Shiraishi S, Wakasugi M, et al. Prognostic significance of disseminated intravascular coagulation in patients with heat stroke in a nationwide registry. J Crit Care. 2017;44:306–11.
9. Kushimoto S, Yamanouchi S, Endo T, Sato T, Nomura R, Fujita M, et al. Body temperature abnormalities in non-neurological critically ill patients: a review of the literature. J Intensive Care. 2014;2:14.
10. Miyake Y. Pathophysiology of heat illness: thermoregulation, risk factors, and indicators of aggravation. Japan Med Assoc J. 2013;56:167–73.
11. Leon LR, Helwig BG. Heat stroke: role of the systemic inflammatory response. J Appl Physiol. 2010;109:1980-8.
12. Lim CL, Mackinnon LT. The roles of exercise-induced immune system disturbances in the pathology of heat stroke: the dual pathway model of heat stroke. Sports Med. 2006;36:39–64.

13. Huisse MG, Pease S, Hurtado-Nedelec M, Arnaud B, Malaquin C, Wolff M, et al. Leukocyte activation: the link between inflammation and coagulation during heatstroke. A study of patients during the 2003 heat wave in Paris. Crit Care Med. 2008;36:2288–95.
14. Tong HS, Tang YQ, Chen Y, Qiu JM, Wen Q, Su L. Early elevated HMGB1 level predicting the outcome in exertional heatstroke. J Trauma. 2011;71:808–14.
15. Deschamps A, Levy RD, Cosio MG, Marliss EB, Magder S. Effect of saline infusion on body temperature and endurance during heavy exercise. J Appl Physiol. 1989;66:2799–804. doi: 10.1152/jappl.1989.66.6.2799. Available from: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2745343/.
16. Hassanein T, Razack A, Gavaler J, Van Thiel DH. Heatstroke: its clinical and pathological presentation with particular attention to the liver. Am J Gastroenterol. 1992;87:1382-9.
17. Bross MH, Nash BT, Carlton FB. Heat emergencies. Am Fam Physician. 1994;50:389-96.
18. Minson CT, Wladkowski SL, Cardell AF, Pawelczyk JA, Kenney WL. Age alters the cardiovascular response to direct passive heating. J Appl Physiol. 1998;84:1323-32.
19. Miles M, Kenneth G. The Cardiovascular System in Heat Stroke. CJC Open. 2021;4(2):158-63. doi: 10.1016/j.cjco.2021.10.002. Available from: https://www.cjcopen.ca/article/S2589-790X(21)00271-7/fulltext
20. Bouchama A, Dehbi M, Mohamed G, et al. Prognostic factors in heat wave related deaths: a meta-analysis. Arch Intern Med. 2007;167:2170-6.
21. Wang J-C, Chien W-C, ChuID P, Chung C-H, Lin CY, TsaiID S-H. The association between heat stroke and subsequent cardiovascular diseases. PLOS ONE. 2019;14(2):e0211386. doi: 10.1371/journal.pone.0211386. Available from: https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0211386.
22. Kenney WL, Morgan AL, Farquhar WB, et al. Decreased active vasodilator sensitivity in aged skin. Am J Physiol. 1997;272(4 Pt 2):H1609-14.
23. Berenson GS, Burch GE. The response of patients with congestive heart failure to a rapid elevation in atmospheric temperature and humidity. Am J Med Sci. 1952;223:45-53.
24. Bathini T, Thongprayoon C, Petnak T. Circulatory failure among hospitalizations for heatstroke in the United States. Medicines (Basel). 2020;7:32.
25. Akhtar MJ, al-Nozha M, al-Harthi S, Nouh MS. Electrocardiographic abnormalities in patients with heat stroke. Chest. 1993;104:411-4.
26. Mimish L. Electrocardiographic findings in heat stroke and exhaustion: a study on Makkah pilgrims. J Saudi Heart Assoc. 2012;24:35-9.
27. al-Harthi SS, Nouh MS, al-Arfaj H, et al. Non-invasive evaluation of cardiac abnormalities in heat stroke pilgrims. Int J Cardiol. 1992;37:151-4.
28. Pease S, Bouadma L, Kermarrec N, et al. Early organ dysfunction course, cooling time and outcome in classic heatstroke. Intensive Care Med. 2009;35:1454-8.
29. Hausfater P, Doumenc B, Chopin S, et al. Elevation of cardiac troponin I during non-exertional heat-related illnesses in the context of a heatwave. Crit Care. 2010;14:R99.
30. Chen WT, Lin CH, Hsieh MH, Huang CY, Yeh JS. Stress-induced cardiomyopathy caused by heat stroke. Ann Emerg Med. 2012;60:63-6.
31. Sprung CL. Hemodynamic alterations of heat stroke in the elderly. Chest. 1979;75:362-6.
32. Kaiser R, Le Tertre A, Schwartz J, et al. The effect of the 1995 heat wave in Chicago on all-cause and cause-specific mortality. Am J Public Health. 2007;97(suppl 1):S158-62.

33. Tan W, Herzlich BC, Funaro R, Koutelos K, Pagala M, Amaladevi B, et al. Rhabdomyolysis and myoglobinuric acute renal failure associated with classic heat stroke. South Med J. 1995;88:1065-8.
34. Smith JE. Cooling methods used in the treatment of exertional heat illness. Br J Sports Med. 2005;39:503-7.
35. Casa DJ, McDermott BP, Lee EC, et al. Cold water immersion: the gold standard for exertional heatstroke treatment. Exerc Sport Sci Rev. 2007;35:141-9.
36. Costrini A. Emergency treatment of exertional heatstroke and comparison of whole body cooling techniques. Med Sci Sports Exerc.1990; 22:15-8.
37. Roberts WO. Managing heatstroke: on-site cooling. Physician Sports med. 1992;20:17-28.
38. Lee-Chiong TL, Stitt JT. Heatstroke and other heat-related illnesses. The maladies of summer. Postgrad Med. 1995;98:26-36.
39. Bross MH, Nash BT, Carlton FB. Heat emergencies. Am Fam Physician. 1994;50:389-96.
40. Broessner G, Beer R, Franz G, Lackner P, Engelhard K, Brenneis C, et al. Case report: severe heat stroke with multiple organ dysfunction – a novel intravascular treatment approach. Crit Care. 2005;9: R498-5.
41. Schmutzhard E, Engelhardt K, Beer R, Brossner G, Pfausler B, Spiss H, et al. Safety and efficacy of a novel intravascular cooling device to control body temperature in neurologic intensive care patients: a prospective pilot study. Crit Care Med. 2002;30:2481-8.
42. Marion DW. Controlled normothermia in neurologic intensive care. Crit Care Med. 2004;32:S43-5.
43. Diringer MN. Treatment of fever in the neurologic intensive care unit with a catheter-based heat exchange system. Crit Care Med. 2004;32: 559-64.
44. Walker JS, Hogan DE. Heat emergencies. In: Emergency Medicine: A Comprehensive Study Guide, Section 15. Edited by Tintinalli JE, Kelen GD, Stapczynski S. American College of Emergency Physicians; 2004. p. 1183-9.
45. Tek D, Olshaker JS. Heat illness. Emerg Med Clin North Am. 1992;10:299-310.
46. Rublee C, Dresser C, Giudice C, Lemery J, Cecilia So. Evidence-Based Heatstroke Management in the Emergency Department. Western Journal of Emergency Medicine. 2021;22(2): 186-95. Available from: http://escholarship.org/uc/uciem_westjem DOI: 10.5811/westjem.2020.11.49007
47. Alzeer AH, el-Hazmi MA, Warsy AS, Ansari ZA, Yrkendi MS. Serum enzymes in heat stroke: prognostic implication. Clin Chem. 1997;43: 1182-7.
48. Nylen ES, Al Arifi A, Becker KL, Snider RH, Alzeer A. Effect of classic heatstroke on procalcitonin. Crit Care Med. 1997;25:1362-5.
49. Epstein Y, Sohar E, Shapiro Y. Exertional heatstroke: a preventable condition. Isr J Med Sci. 1995;31:454-62.
50. Roberts WO. Determining a "do not start" temperature for a marathon on the basis of adverse outcomes. Med Sci Sports Exerc. 2010;42: 226–32.
51. Kim JH, Malhotra R, Chiampas G, et al. Cardiac arrest during long-distance running races. N Engl J Med. 2012;366:130–40.
52. Armstrong LE, Epstein Y, Greenleaf JE, Haymes EM, Hubbard RW, Roberts WO, et al. American College of Sports Medicine position stand. Heat and cold illnesses during distance running. Med Sci Sports Exerc. 1996;28:i–x.
53. Tek D, Olshaker JS. Heat illness. Emerg Med Clin North Am. 1992;10:299-310.

54. Squire DL. Heat illness. Fluid and electrolyte issues for pediatric and adolescent athletes. Pediatr Clin North Am. 1990; 37:1085-109.
55. Dehbi M, Baturcam E, Eldali A, et al. Hsp-72, a candidate prognostic indicator of heatstroke. Cell Stress Chaperones. 2010;15:593-603.
56. Tsai YC, Lam KK, Peng YJ, Lee YM, Yang CY, Tsai YJ, Yen MH, Cheng PY. Heat shock protein 70 and AMP-activated protein kinase contribute to 17- DMAG-dependent protection against heat stroke. J Cell Mol Med. 2016;20:1889–97.