

熱危害引起之職業疾病認定參考指引

計畫主持人鄭天浚醫師 執筆郭耀昌醫師 徐祥清醫師

一、前言

所謂熱環境(thermal environment) 是指會影響人體冷熱感覺的各種因素所構成的環境而稱之，然而依據美國職業安全衛生研究所(NIOSH)之定義，所謂熱環境係指外在環境熱與暴露個體內生之工作負荷代謝熱透過個體熱生理調節後，仍可使暴露者身體內部溫度或體心溫度升高到 38°C 以上之環境，其主要是針對易造成人體熱危害之熱環境(hot environment)而言。人體在熱環境工作，代謝產熱量與外在環境因素（氣溫、濕度、風速及輻射熱等）及衣著情形等共同作用而造成身體產生熱負荷或熱蓄積情形，則稱之為熱應力(heat stress)。因此，人體產生之種種生理現象稱為熱應變(heat strain)，如果這些應變導致健康之不良影響或破壞生理功能，則表示對生物體已引起熱傷害(heat injury)或熱疾病(heat illness 或 heat disorder)，即生物體的熱危害(heat hazard)。

二、導論

(一)熱危害的簡介

熱急症是環境造成的死亡最常見的原因。熱急症在環境醫學中是很重要的一部分，在一些熱浪(heat wave)好發的國家，如美國，中暑的發生率可達到每十萬人中有十七至二十六人罹病[1]，且未適當處理之中暑患者，其死亡率甚至可以高達五成[2]。一般而言，熱急症好發於夏天，尤其是處於熱帶地區或是有熱浪發生的國家，地處亞熱帶的台灣，過去總認為傳統型中暑(classic heat stroke)是少見的疾病，在遇到嚴重熱症的患者時，因未能及時診斷和給予適當的治療，以致病患的預後不佳，甚至還有生命危險。近年來的本土資料顯示，雖然台灣氣候並未達熱浪的標準，但是在氣溫偏高(超過 30°C)的情況下，許多心肺功能有問題的老人家也可能罹患傳統型中暑[3, 4]。在美國，每年平均有四百多人因為熱急症而死亡，這個數字每年都在增加當中。

(二)熱適應(heat acclimatization)

當一個人首次在熱環境下工作，他將會表現出熱壓力症(heat stress)的症狀，例如體溫上升、心跳加快、頭痛或噁心的現象。而多次的暴露之後，將漸漸習慣熱環境，這種現象稱之為熱適應(heat acclimatization)。身體進行熱適應過程會需要數個禮拜的時間。在熱適應的早期會藉由調整心血管功能包括：增加血容積、降低心跳、將血流送往週邊皮膚微血管、減少送往內臟的血流。另外會加強汗液的製造和排出速率來使中心體溫降低，而鈉離子與水分會因為排汗及尿液流失，身體接著會啟動腎素-血管張力素-留鹽激素 (renin-angiotensin-aldosterone) 系統，促進腎臟及汗腺留住鈉離子，並且增加腎絲球的血流量來預防橫紋肌溶解症(rhabdomyolysis)的發生。

一般而言，熱適應在連續暴露兩小時的情形下就會開始，首先是會加快新陳代謝的速率。在第四天，身體便會達到 33%的理想適應情況。在第八天，身體的心血管功能將會更穩定，且體溫與體表溫度會回穩，整體達到 44%的理想適應情況。在第十天，排汗量與尿液電解質濃度下降並達到 65%的理想適應情況；在第二十天，身體會達到 99%的體想適應情況。

但是，這樣的熱適應如果連續四天未工作，熱適應的能力會開始降低。如果同時身體有其他疾病，例如不適當的用藥、睡眠不佳、營養狀況不好、或水分與電解質的缺乏，將會降低身體的熱適應能力。

三、具潛在性暴露之職業

- (1)於鍋爐房或鍋爐間從事之作業。
- (2)灼熱鋼鐵或其他金屬塊壓軋及鍛造之作業。
- (3)於鑄造間處理熔融鋼鐵或其他金屬之作業。
- (4)鋼鐵或其他金屬類物料加熱或熔煉之作業。
- (5)處理搪瓷、玻璃、電石及熔爐高溫熔料之作業。
- (6)於蒸汽火車、輪船機房從事之作業。
- (7)從事蒸汽操作、燒窯等作業。
- (8)其他從事室外日射暴露環境工作，包括從事室外的勞動之作業、於戶外從事農業之作業等。

(修正原因：所謂高溫日射疾病無法只用從事室外工作來表述，亦無法逐條列舉，必須以概括表述的方式以免造成環境認定條件之困擾)

四、醫學評估與鑑別診斷

(一)臨床症狀

熱急症可依照其症狀的嚴重程度，可以分為輕微症狀（例如熱暈厥、熱筋攣、熱衰竭）與嚴重症狀（熱中暑），以下為各症狀之診斷依據。嚴重程度雖與外界溫度相關，但其嚴重程度與患者本身年紀及固有疾病具有相關性。

1.熱壓力症 (Heat Stress)

熱壓力症是因外界的高溫使得個體感到不適和疲倦，但是個體本身的中心體溫(core temperature)卻極少有上升的情形。熱壓力症的患者，其心輸出量會上升並把血液輸送至周邊的血管，以達到散熱的效果[5]。但如果病人本身有脫水的情形和心血管方面的疾病，或是病人有在服用一些會導致血管收縮的藥物與乙型阻斷劑(β -blocker) [6,7,8]，身體本身的散熱功能就會受到影響，進而加重熱症嚴重程度，最後可能演變至熱衰竭或中暑。

2.熱筋攣 (Heat Cramp)

熱筋攣症狀為身體不自主骨骼肌收縮所造成的肌肉疼痛，容易發生於大腿與肩部。通常在活動當中，或者是在長時間活動後休息時，在大量流汗後補充開水或低張溶液未同步補充電解質時發生。水土不服或不適應的工作有更高的機會發生熱筋攣。在病理學上，熱筋攣的發生是因為大量流汗導致身體肌肉鈉離子、鉀離子等電解質缺乏所造成。

3.熱暈厥 (Heat Syncope)

在熱暴露下，個體會出現相對性的體容積下降、週邊血管舒張與血管張力下降，這些因素累積起來就有可能導致姿勢性低血壓。熱暈厥即是此類姿勢性低血壓的一種表現。這類輕微的熱症最好發在老年人的族群，而且並不需嚴重的脫水即可導致個體出現熱暈厥的症狀。熱暈厥本身是一項排除性的診斷，通常需要審慎而完全的評估，只有在排除其他代謝性、心血管性與神

經性等，可能造成暈厥的因素之後，才能確立這項診斷。此類患者通常在移離熱源和適當地補充體液後，都能恢復到正常的狀態。

4. 熱衰竭 (Heat Exhaustion)

造成熱衰竭的原因，可能是暴露在高溫的環境中或是過度運動後造成身體過度產熱。暴露於高溫環境或劇烈運動會導致身體水分或鹽分喪失，患者體溫可能正常或輕微上升。熱衰竭和中暑的共通點是都是中心體溫上升，熱衰竭病人的中心體溫常會上升至 38°C 至 40°C 之間，常見的症狀包括，嚴重的不適感、口渴、噁心與嘔吐，熱衰竭一般會有輕微的脫水，有時伴隨著鈉離子不平衡的狀況；臨床上可能以高血鈉或低血鈉表現[9]。相較於中暑，熱衰竭的患者一般不會有嚴重的神經系統症狀，因此，神經系統症狀的有無可用來區分熱衰竭和中暑。

5. 熱中暑 (Heat Stroke)

患者體溫常會超過 40.6°C 且合併中樞神經症狀，如譫妄、抽搐或昏迷[10]。中暑可分成傳統型中暑及勞動型中暑[9]。傳統型中暑：環境是造成此類中暑最重要的危險因子，這類型的中暑常發生在熱浪來襲時、溫度上升時[5]，個體暴露於高溫與高濕度的環境中，本身缺乏適應環境的能力時，導致熱無法排出，就容易發生中暑的情形，高危險群包含幼兒、老人、缺乏空調設備的人[11]。當中暑的嚴重程度上升，病人可能會出現無汗的症狀，無汗症會使散熱更加困難，會加速體溫的上升並進一步加劇熱症所造成的傷害。勞動型中暑：常發生在激烈身體活動的個體，因產熱過多導致中心體溫上升對身體產生傷害的程度，好發於運動員、軍人、勞工...等。此類中暑的發生往往合併有溼熱環境的影響，大量排汗所致的脫水狀態會增加熱症發生的機會；相反地，如果能縮短激烈運動的時間或在涼爽的環境下進行，即可減少此類中暑的產生。出汗與否可用來區分傳統型中暑和勞動型中暑；傳統型中暑的患者，早期會有明顯且大量的出汗，後來因體液過度流失或汗腺功能異常而不再流汗，所以當患者送至急診室接受醫師診治時，此類型的患者常表現出無汗症。相反地，大部分勞動型中暑的患者在診治時，都會有流汗的表現。除了流汗與否之外，患者的年紀、理學檢查的發現、實驗室的檢查數據，都可提供線索來分辨中暑的類型[12]。

(二) 實驗室診斷

中暑的臨床診斷需符合中心體溫超過 40.6°C，同時伴隨著皮膚乾熱無汗以及中樞神經系統的異常，包括譫妄、癲癇、昏迷[10]。然而，皮膚乾熱無汗的問題並不會出現在每一個中暑的患者身上，因此，皮膚乾熱無汗並不能當作一個絕對的診斷標準。任何體高溫且合併中樞神經系統異常的患者都須要排除中暑的可能性[13]。然而，在大部分的狀況下，中暑是屬於排除性的診斷。中暑需要和感染症、藥物中毒或戒斷、血清素症候群(serotonin syndrome)、抗精神疾病藥物惡性症候群(neuroleptic malignant syndrome)、內分泌系統異常、中樞神經系統異常做鑑別診斷。臨床上對於中暑的患者，為了排除感染症的可能性，需要進行血球計數、血液培養、尿液的檢查與培養、胸部 X 光檢查。若懷疑有中樞神經系統的病灶，可以安排腦部電腦斷層檢查。另外，針對中暑可能引起的相關併發症，臨床上需檢測血液中電解質的濃度，以排除電解質異常。藉由檢測血中肌酸磷酸激酶(creatine phosphokinase)的濃度，可以幫助診斷可能併發的橫紋肌溶解症。此外，由於中暑可能導致肝臟與腎臟衰竭的情形，肝功能

指數、膽紅素、腎功能的檢測也都是必要的。

(三)預後

對於熱衰竭的患者，一旦降溫與給予水分補充，都可以立即復原。一般而言，患者一旦從高熱的環境移出，中心體溫就會降低，熱傷害就會中止。熱傷害的嚴重程度與暴露高熱的時間和溫度的高低有相關性。研究顯示傳統型中暑的死亡率約 14%[14]。對於輕微中暑的患者，一般都可以完全恢復，通常也不會留下一些神經方面的後遺症。對於存活下來中度到重度中暑的患者，有機會可以完全恢復但有較高後遺症的風險。中心體溫大於 42°C 的中暑患者預後較差，雖然患者通常可以從肝臟與腎臟的損害中復原，但是常有永久性的神經傷害。持續性的神經功能異常包括：行為改變、視力降低、構音困難 (dysarthria)、記憶力受損、步態不穩和協調功能不良[15]。在嚴重中暑的患者之中，三分之一的患者會有永久性的中度到重度的損傷，包括痙攣狀態與泛小腦症候群。在初期的電腦斷層掃描與核磁共振的檢查中，可以看到腦部水腫與缺血性的變化。在晚期通常可以看到腦部萎縮。對於嚴重中暑的患者死亡率可高達 10%。

(四)鑑別診斷

其他疾病所造成的體溫上升，需與熱急症做鑑別診斷包括有以下幾類疾病：

- 1.藥物中毒：如副交感拮抗藥物、興奮劑（例如安非他命、古柯鹼等等）、水楊酸中毒。
- 2.酒精戒斷症狀。
- 3.血清素症候群（serotonin syndrome）。
- 4.抗精神病藥物惡性症候群（neuroleptic malignant syndrome）。
- 5.全身性感染。
- 6.中樞神經感染：如腦膜炎、腦炎、腦膿瘍。
- 7.內分泌疾病：如糖尿病酮酸中毒、甲狀腺亢進。
- 8.神經疾病：如重積癲癇症、腦出血。

五、流行病學證據

早在 1989 年的文獻中記載因為職業中中暑而死亡的個案報告[16]，一位 29 歲檢石工人從早上工作至下午三點多，感覺炎熱並有咳血症狀，告知同伴後在車上休息，後來發現已無生命徵象；經大體解剖後發現有肺水腫與肝脂肪病變現象。另一位 23 歲鑿洞工人工作至在下午三點時，感覺頭暈，進而意識不清，同伴帶至陰涼處休息時發現，該名工人全身乾熱，送至醫院治療後無效死亡；經大體解剖後發現多重器官衰竭，包括血胸、出血性胰臟炎、腹內出血、腎小管壞死等現象。文中討論提及，中暑死亡大多在炎熱的環境下，常常是年輕人在炎熱環境中做中度或高度體能型勞動。在某些情況下，例如肥胖、酗酒、使用抗副交感神經藥物、合併慢性疾病、疲勞、過度飲食身體狀況不佳、睡眠不足、年紀大、水分補充不足、環境適應不佳的情況下容易發生。

六、暴露證據收集之方法

(一)熱暴露的評估

熱暴露的評估可由綜合溫度熱指數(wet bulb globe temperature, WBGT)，計算方法如下：

1.戶外有日曬情形者。

$$\text{綜合溫度熱指數} = 0.7 \times (\text{自然濕球溫度}) + 0.2 \times (\text{黑球溫度}) + 0.1 \times (\text{乾球溫度})$$

2.戶內或戶外無日曬情形者。

$$\text{綜合溫度熱指數} = 0.7 \times (\text{自然濕球溫度}) + 0.3 \times (\text{黑球溫度})。$$

3.時量平均綜合溫度熱指數計算方法如下：

$$\begin{aligned} & \text{第一次綜合溫度熱指數} \times \text{第一次工作時間} + \text{第二次綜合溫度熱指數} \times \text{第二次} \\ & \text{工作時間} + \dots + \text{第n次綜合溫度熱指數} \times \text{第n次工作時間} / \\ & \text{第一次工作時間} + \text{第二次工作時間} + \dots + \text{第n次工作時間} \end{aligned}$$

(二)內在產熱：

計算身體代謝速率：依照工作的型態可以由以下表格計算身體代謝所產生的熱能[17]:

舉例來說，以一位保持坐姿的人(0.3kcal/min)+工作時為全身的輕度活動(3.5kcal/min)+身體基礎代謝率(1.0kcal/min)，總共為4.8kcal/min，換算成每小時為單位則為288kcal/hr，再乘上體重校正係數(weight correction factor)而得總代謝率(total metabolic rate)。

所謂的體重校正係數(Weight correction factor)是用在，當所負擔的重物加上本身體重大於154磅(大約為69.85公斤)，算法如下：

$$\text{體重校正係數}(\text{weight correction factor}) = \frac{[\text{體重}(\text{公斤}) + \text{負重}(\text{公斤})]}{69.85}$$

Estimated Metabolic Heat Production Rates by Task Analysis¹

A. Body Position and Movement	kcal/min*	
Sitting	0.3	
Standing	0.6	
Walking (uphill)	2.0–3.0 (add 0.8 kcal/meter rise in elevation)	
B. Type of Work	Average (kcal/min)	Range (kcal/min)
Hand work:		
light	0.4	0.2–1.2
heavy	0.9	
Work, one arm:		
light	1.0	0.7–2.5
heavy	1.8	
Work, both arms:		
light	1.5	1.0–3.5
heavy	2.5	
Work, whole body:		
light	3.5	2.5–9.0
moderate	5.0	
heavy	7.0	
very heavy	9.0	
C. Basal Metabolism	1.0	1.0
<i>Sum of A, B, and C equals estimated metabolic production per task</i>		

*For a standard male worker of 70 kg (154 lbs) body weight and 1.8 m² (19.4 ft²) body surface.

1. Sample calculation for the job of ENTRANT:

Task	kcal/min
A. Sitting	0.3 kcal/min
B. Light, whole body work	3.5 kcal/min
C. Basal metabolism	<u>1.0 kcal/min</u>
Metabolic Rate Total	4.8 kcal/min x 60 min/hour = 288 kcal/hour
D. Multiply by the weight correction factor	288 kcal/hour x 1.05 [‡]

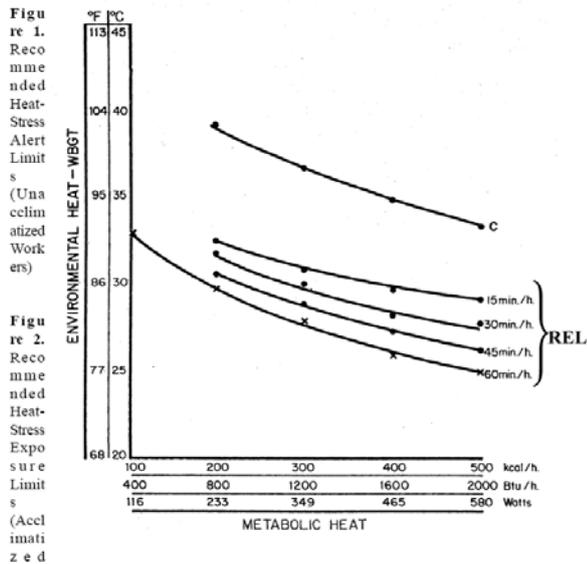
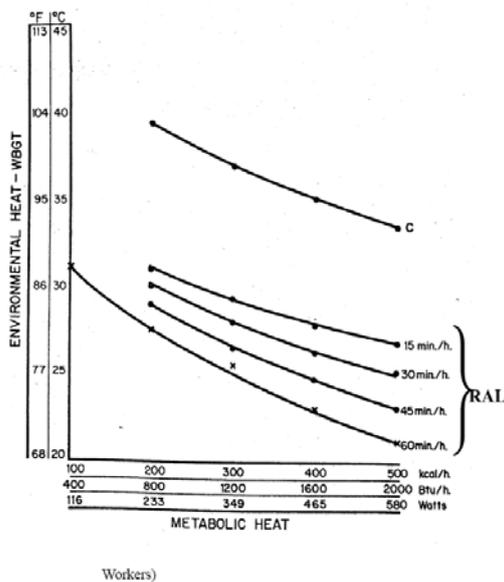
Total estimated metabolic rate = 302 kcal/hour[^]

[‡] The weight correction factor is used when an employee, plus any load they may have to carry, weigh other than 154 lbs. Calculate the factor by dividing the sum of the employee's current body weight (BW) and the load weight (LW) by 154 lbs or $[(BW + LW) \div 154 \text{ lbs}] = \text{weight correction factor}$. A correction factor for a worker who weighs 162 lbs and who is not carrying a load is calculated as: $(162 \text{ lbs} + 0 \text{ lbs}) \div 154 \text{ lbs} = 1.05$.

[^] Although not included in the following calculations, a correction factor specific to each employee would be applied under normal circumstances.

(三)綜合比較：

將所得的綜合溫度熱指數與身體代謝率數值，根據熱壓力症警覺量表 (NIOSH Recommended Heat-Stress Alert Limit, RAL)與熱壓力症暴露量表 (Recommended Heart-Stress Exposure Limit, REL)做比較，可以得知是否在身體可接受的範圍內。



^a The figures' curves indicate recommended work/rest regimens for a combination of external heat (measured as wet-bulb globe temperatures) and internal (metabolic) heat. The 'C' curve is the Ceiling Limit, indicating that workers should not be exposed to such conditions without adequate heat-protective clothing and equipment.¹

(四) 個人工作生命徵象檢查方式[17,18]：

個人工作時對熱暴露可在工作中不定時測量以下生命徵象來探討：

- 1.心跳：心跳極限值=180-年紀；不定時測量心跳速度，監測是否有超過心跳極限值的時間超出3分鐘。
- 2.口溫：在工作後並且在喝水前測量口溫。通常盡量避免張口呼吸。測量溫度如果大於37.6度時，下個工作循環建議減少1/3工作時數。如果溫度大於38.0度時，建議停止工作。
- 3.體重：體重的減少可觀察身體水分的情況。體重減少百分比=(工作前體重-工作後體重)/工作前體重X100。工作所造成的體重減輕不應超過1.5%。
- 4.恢復心跳：在正常工作後以坐姿休息，休息一分鐘後所測量脈搏速率為P1，休息三分鐘後所測量脈搏速率為P3，藉由以下的對應關係來看目前所接受的熱壓力症情形。

(五) 國際標準組織 (ISO) ISO 7933

國際標準組織公佈高溫作業熱危害評估之標準，可提供測量高溫環境參數之方法，並且對生理反應值之量測方法亦已有規範，其主要內容如下：

1. 熱蓄積之推估

有關熱蓄積之評估方式，可依據ISO-7933 之建議的熱平衡方程式如下：

$$M - W = C_{res} + E_{res} + K + C + R + E + S \quad (1)$$

式中之M為代謝能，代表勞工工作時，體內所產生之熱能；W為有效機械能，代表勞工實際有效作用於外在工作之能量(功)；C_{res}為呼吸對流之熱流率，代表在呼吸道部分，以對流方式傳遞的能量；E_{res}為呼吸蒸發之熱流率，代表在呼吸道部分，以蒸發方式傳遞的能量；K為傳導之熱流率，代表

經由實際接觸方式傳遞的能量；C為皮膚表面對流之熱流率，代表在人體之皮膚表面部分，經由對流方式傳遞的能量；R為皮膚表面輻射之熱流率，代表在人體之皮膚表面部分，經由輻射方式傳遞的能量；E為皮膚表面蒸發之熱流率，代表在人體之皮膚表面部分，經由蒸發方式傳遞的能量；而S為最後體內熱蓄積，代表蓄存於體內之熱能。前述的各項因子之評估方法簡述如下：

(1)代謝能 (M; W/m²)

代謝能代表勞工工作時，體內所產生之熱能，可由下式計算之：

$$M = EE \times VO_2 \times 1 / ADu \quad (2)$$

式中 EE(Wxh/L)為能量商數，代表意義為人體所消耗O₂的量有多少會被轉換成能量，其與呼吸商數(RQ)有關，可由下式計算之：

$$EE = (0.23 \times RQ + 0.77) \times 5.88 \quad (3)$$

至於公式中RQ是產生CO₂之速率(VCO₂)與消耗O₂之速率(VO₂)的比值，即：

$$RQ = VCO_2 / VO_2 \quad (4)$$

上述公式(4)及公式(2)中之VO₂具有相同之意義。另在公式(4)中之ADu(m²)為身體表面積，其與身高(H; m)及體重(WT; kg)有關，計算公式如下：

$$ADu = 0.202 \times H^{0.725} \times WT^{0.425} \quad (5)$$

(2)有效機械能 (W; W/m²)

有效機械能代表意義為勞工實際作用於外在工作之能量，其在大多數的作業情況下，有效機械能(W)很小通常可忽略不計。

(3)呼吸對流之熱流率 (Cres; W/m²)

呼吸對流之熱流率代表在呼吸道部份，以對流方式所傳遞的能量，其與乾空氣在定壓下之比熱(Cp; J/kg)、呼吸空氣進流速率(respiratory rate)(V; kg/sec)、呼出氣體之溫度(Tex; °C)、空氣溫度(Ta; °C)及身體表面積(ADu; m²)有關，可由下式計算之：

$$Cres = Cp \times V \times (Tex - Ta) / ADu \quad (6)$$

另外 Cres 亦可利用代謝熱(metabolic power)估計之，其經驗計算公式如下：

$$Cres = 0.0014 \times M \times (Tex - Ta) \quad (7)$$

(4)呼吸蒸發之熱流率(Eres; W/m²)

呼吸蒸發之熱流率代表在呼吸道部分，以蒸發方式傳遞的能量，其與水蒸發之潛熱(Ce; J/kg)、呼吸空氣進流速率(respiratory rate)(V; kg/sec)、呼出氣體之濕度(Wex; kg xwater/kg air)、吸入氣體之濕度(Wa; kg xwater/kg air)及身體表面積(ADu; m²)有關，其計算方式如下：

$$Eres = Ce \times V \times (Wex - Wa) / ADu \quad (8)$$

另外，Eres 亦與代謝熱(M; W/m²)、呼出之飽和水蒸汽壓(Pex; kPa)及環境之水蒸氣分壓(Pa; kPa)有關，利用經驗式計算如下：

$$Eres = 0.0173 \times M \times (Pex - Pa) \quad (9)$$

(5)傳導之熱流率 (K; W/m²)

傳導之熱流率代表經由實際接觸方式傳遞的能量，由於高溫作業勞工通常未與熱源直接接觸故可略。

(6) 皮膚表面對流之熱流率 (C; W/m²)

皮膚表面對流之熱流率代表在人體之皮膚表面部分，經由對流方式傳遞的能量，其與對流熱之傳遞係數 (hc; W/m²□K)、衣服因素對熱交換所造成之衰減係數(dimension) (Fcl)、皮膚溫度 (Tsk; °C) 及空氣溫度 (Ta; °C) 有關，其計算公式如下：

$$C = hc \times Fcl \times (Tsk - Ta) \quad (10)$$

在公式(10)中hc表示熱經由對流方式傳遞的效率，在自然通風的情況下與皮膚溫

度 (Tsk; °C) 及空氣溫度 (Ta; °C) 有關，其計算公式如下：

$$hc = 2.38 \times |Tsk - Ta|^{0.25} \quad (11)$$

而在有強制通風的情況下則與相對風速 (Var; m/s) 大小有關，其計算公式如下：

$$\text{當風速小於每秒1公尺時：} hc = 3.5 + 5.2 \times Var \quad (12)$$

$$\text{當風速大於等於每秒1公尺時：} hc = 8.7 \times Var^{0.6} \quad (13)$$

其中公式(12)及公式(13)之Var與環境之風速 (Va; m/s) 及代謝熱 (M; W/m²)

有關，其計算公式如下：

$$Var = Va + 0.0052 \times (M - 58) \quad (14)$$

另外，在公式(12)中之Fcl表示衣服對於皮膚表面之熱交換的影響程度，其與hc、輻射熱移轉係數(hr)及衣服隔熱係數(Icl; clo)有關，其計算公式如下：

$$Fcl = 1 / [(hc + hr) \times Icl + 1 / (1 + 1.97 \times Icl)] \quad (15)$$

至於公式(10)中之Tsk，除可直接量測外，亦可經由ISO-7933預測平均皮膚溫度 (Tsk P) 之經驗公式求得，其公式如下：

$$Tsk P = 30 + 0.093 \times Ta + 0.045 \times Tr - 0.571 \times Va + 0.254 \times Pa + 0.00128 \times M - 3.57 \times Icl \quad (16)$$

(7) 皮膚表面輻射之熱流率(R; W/m²)

皮膚表面輻射之熱流率代表在人體之皮膚表面部份，經由輻射方式傳遞的能量，其與輻射熱移轉係數 (hr; W/m²×K)、衣服因素對熱交換所造成之衰減係數 (Fcl)、皮膚溫度 (Tsk; °C) 及環境之平均輻射溫度 (Tr; °C) 有關，其計算公式如下：

$$R = hr \times Fcl \times (Tsk - Tr) \quad (17)$$

在公式(17)中hr表示熱經由輻射方式傳遞的效率，其與 Stefan-Boltzman constant(σ)、皮膚放射係數 (esk)、皮膚表面分率 (Ar/ADu)、皮膚溫度 (Tsk; °C) 及環境之平均輻射溫度 (Tr; °C) 有關，其計算公式如下：

$$hr = \sigma \times esk \times Ar/ADu \times [(Tsk + 273)^4 - (Tr + 273)^4] / (Tsk - Tr) \quad (18)$$

至於公式(18)中之Tr代表環境中的平均輻射溫度，會受空氣溫度 (Ta; °C)、黑球溫度 (Tg; °C) 及風速 (Va; m/s) 影響，其計算公式如下：

$$Tr = [(Tg + 273)^4 + 2.5 \times 10^8 \times Va^{0.6} \times (Tg - Ta)]^{1/4} - 273 \quad (19)$$

(8) 皮膚表面之蒸發率(E; W/m²)

皮膚表面蒸發之熱流率代表在人體之皮膚表面部份，經由蒸發方式傳遞的能量，會受到皮膚汗濕百分率 (w) 及皮膚表面蒸發之最大熱流率

(E_{max} ; W/m^2) 影響，其計算公式如下：

$$E = w \times E_{max} \quad (20)$$

在公式(20中 w 代表皮膚表面的潮濕程度；而 E_{max} 則代表人體皮膚表面所能蒸發水分的最大量，其會受皮膚溫度時之飽和蒸氣壓 ($P_{sk.s}$; kPa)、工作環境之水蒸氣分壓 (P_a ; kPa) 及衣服對皮膚蒸發之阻力 (RT ; $m^2.kPa/W$) 影響，其計算公式如下：

$$E_{max} = (P_{sk.s} - P_a) / RT \quad (21)$$

在公式(21中 RT 代表衣服對於皮膚表面蒸發能力的影響程度，其與 h_c 及潛在熱交換之換算係數(F_{pcl})有關，其計算公式如下：

$$RT = 1 / (16.7 \times h_c \times F_{pcl}) \quad (22)$$

公式(22) F_{pcl} 代表潛在熱交換時之轉換速率的快慢，其與 h_c 、 h_r 及 I_{cl} 有關，其計算公式如下：

$$F_{pcl} = 1 / [1 + 2.22 \times h_c \times (I_{cl} - (1 - 1 / (1 + 1.97 \times I_{cl})) / (h_c + h_r))] \quad (23)$$

(9) 體內蓄積熱(S ; W/m^2)

由於前述各因子皆已得知之後，我們可從式3中求得最後仍存在體內之熱能，即體內之熱蓄積 (即 $S = M - W - C_{res} - E_{res} - K - C - R - E$)。

2. 流汗量之推估

有關流汗量之評估方式，可依據ISO-9886之所建議之理論公式如下：

$$\Delta m_g = \Delta m_{sw} + \Delta m_{res} + \Delta m_o + \Delta m_{wat} + \Delta m_{sol} + \Delta m_{clo} \quad (24)$$

公式(24) Δm_g 代表實驗前後體重之總重量差； Δm_{sw} 代表因流汗所造成體重差 (即流汗量)； Δm_{res} 代表由呼吸蒸發所造成體重差，一般其對於前後體重差的影響可忽略不計； Δm_o 代表因 CO_2 與 O_2 之間所造成不同重量的損失量，其對於前後體重差的影響可忽略不計； Δm_{wat} 代表因 喝水或排尿所造成之體重差； Δm_{sol} 代表因吃食物或排糞便所造成之體重差； Δm_{clo} 代表因衣服不同重量或汗蓄積在衣服中之重量的差異。若在實驗過程中，並未讓受測者喝水、吃東西及排尿等，則 Δm_{wat} 、 Δm_{sol} 為零，因此流汗量可視為實驗前後之總體重差減去實驗前後的衣服重量差異的結果 (即 $\Delta m_{sw} = \Delta m_g - \Delta m_{clo}$)。

3. 皮膚表面需要蒸發率、需要皮膚汗濕率及需要流汗速率之推估率

在皮膚表面需要蒸發率的部份，由於皮膚表面需要蒸發率(E_{req} , required evaporation rate)主要是為了保持體內的熱平衡，亦即要使體內沒有熱蓄積，因此可將公式(3)中 S 設定為零，而求得 E_{req} ；另若經由一、中之公式(3)計算所得 S 為零或小於零時，則 E 等於 E_{req} 。在需要皮膚汗濕率的部分，由於需要皮膚汗濕率(w_{req} , required skin wettedness)代表的意義為要維持皮膚表面需要蒸發率，使其有效排除體內熱蓄積時，所需要的皮膚表面潮濕程度；其為 E_{req} 和 E_{max} 之間的比率，其計算公式如下：

$$w_{req} = E_{req} / E_{max} \quad (25)$$

在需要流汗速率的部份，需要流汗速率(SW_{req} , required sweat rate)，受制於身體所需要的流汗速率及汗的蒸發效率 (r_{req} , evaporative efficiency)，其計算公式如下：

$$SW_{req} = E_{req} / r_{req} \quad (26)$$

公式(26)中之 r_{req} 等於 $(1 - w_{req}^2) / 2$ 。

4. 高溫作業時人體對於熱壓力及熱應力之最大限值

在高溫作業環境，就人體的排汗蒸發條件而言，熱壓力 (Heat stress

) 的最大限制為最大皮膚濕度(w_{max})及最大流汗速率(SW_{max})；而熱應力 (Heat strain) 為人體對熱壓力的反應，其最大限制為最大蓄積熱(Q_{max}) 及最大水分流失(D_{max})。以上之 w_{max} 、 SW_{max} 、 Q_{max} 及 D_{max} ，ISO已就是否接受熱適應，分別針對預警值及危險值訂出恕限值如表3所示。理論上在應用評估勞工熱危害時需注意勞工的 SW_{req} 不能超過 SW_{max} ，及 w_{req} 值不能超出 w_{max} 值；並且當達熱平衡時，發現 S 小於 Q_{max} ，或勞工之水分流失小於 D_{max} 時，則熱環境對作業勞工應不致造成危害。

5. 預測皮膚汗濕率、皮膚蒸發速率及皮膚流汗率之推估率

關於預測皮膚汗濕率(w_p)、皮膚蒸發速率(E_p)及皮膚流汗率(SW_p)三者之推估，一般而言可能有下列三種情況據以推估：

(1) 在 w_{req} 小於 w_{max} 之情況下，則皮膚汗濕率預測值(w_p)會等於 w_{req} ，而皮膚蒸發速率預測值(E_p)則會等於 E_{req} ，皮膚流汗率預測值(SW_p)等於 SW_{req} 。

(2) 在 w_{req} 大於 w_{max} 之情況下， w_p 應等於 w_{max} ，而 E_p 等於 w_p 乘以 E_{max} ， SW_p 等於 E_p 除以 r_p ，其中 r_p 為汗蒸發之預測值，其值相當於 $(1 - w_p^2/2)$ 。

(3) 當 SW_p 或 SW_{req} 大於 SW_{max} 時， w_p 等於 w_{max} ， E_p 等於 w_p 乘以 E_{max} ， SW_p 等於 SW_{max} 。

6. 容許暴露時間(QPT, allowable exposure time)之推估：

關於容許暴露時間之推估，主要可從兩個觀點去考量：第一個觀點為體內之熱蓄積，因為體內的熱蓄積過多時，會使體溫升高，進而使身體的機能無法正常運作，造成身體的危害，因此若體內的代謝熱可以完全排除，或體內熱蓄積不會超過最大容許熱蓄積時則不需考慮工作暴露時間之限制，可連續作業；唯若體內熱蓄積無法完全排除且超過最大容許熱蓄積時，則需依熱蓄積觀點來計算允許工作暴露時間，其計算公式如下：

$$MQPT (\text{min}) = 60 \times Q_{max} / (E_{req} - E_p) \quad (27)$$

第二個觀點為體內水分之流失，由於水分流失過多會造成人體的電解質分佈不均與不足，以導致脫水及痙攣的現象出現，因此在計算容許暴露工作時間時亦需考量體內水分流失的多寡，亦即當勞工的流汗量會超過最大容許水分流失時，需依水分流失觀點計算所設定之允許工作暴露時間，其計算公式如下：

$$SW_p QPT (\text{min}) = 60 \times D_{max} / SW_p \quad (28)$$

雖然上述兩種觀點皆可計算出其容許工作暴露時間時，但基於保護勞工的觀點，容許工作暴露時間之設定，應取前述二值中較小值。

七、結論

因高溫作業含室內及室外作業，且所引起之疾病最少含中暑、熱衰竭及熱痙攣。故建議修訂名稱為「熱危害作業引起疾病」，並進行格式修訂，診斷指引建議如下：

熱危害引起之職業疾病認定參考指引

計畫主持人鄭天浚醫師 執筆郭耀昌醫師 徐祥清醫師

(一)主要基準

1. 具有符合中暑、熱休克、熱中風、熱衰竭、及熱痙攣等疾病之臨床診斷與表徵，可供參考之急性健康影響證據如下列：

(1)體溫上升：

(A) 中暑、熱休克、熱中風：中心體溫超過攝氏 40.6 度（診斷必要條件）。

(B)熱衰竭：中心體溫攝氏 38°C 至 40.5°C（診斷必要條件）。

(2)心臟血管系統：心跳加速或收縮壓過低等休克的症狀。

(3)神經系統：神經系統：神智異常、精神錯亂或迷糊現象（此為中暑、熱休克、熱中風之診斷必要條件）。

(4)皮膚：體溫過高、流汗量異常、皮下出血。

(5)肌肉：肌肉痙攣性疼痛、肌肉力量減少、或血清乳酸去氫酸素（LDH）、血清肌酸酐磷酸酵素（CPK）等增高之組織破壞的現象。

(6)腎功能障礙：血中尿素氮、肌酸酐、血球比容值測定、尿蛋白、尿液比重、尿量等異常現象。

(7)血液凝固異常：凝血原時間及有關凝血機制有障礙。

(8)肝臟傷害：麩草酸轉胺基酵素（AST）、和麩丙酮轉胺基酵素（ALT）之血中濃度增高現象。

(9)電解質不平衡：鈉、鉀、氯、鈣、磷等電解質、及動脈血液氣體分析（酸鹼值、氣分壓、二氧化碳分壓）等電解質和酸鹼平衡指標異常。

2. 高溫作業環境之暴露史，包括工作的描述、行業特性、工作環境、作息時間、工作內容、工作量等。勞工作業量的輕重、作息時間的分配、有無經過適應期的調適、工作環境的配合（有無合適休息處所、有無電解質及水份的補給）等因素都需詳細記錄。

(1)室內高溫作業可依勞委會高溫作業勞工作息時間標準之規範。

(2)室外高溫作業暴露可參考附表一。

(3)必要時進行現場 WBGT 的測定以及依據工作內容估算的內在產熱值，評估個體是否處於異常的日環境暴露條件之下(附表一)。

3. 合理的熱急症發病之時序性。

4. 必須合理排除其他可能引起體溫上升的常見原因。例如：藥物、全身性感染、內分泌疾病等所引起的體溫上升或暈厥情形。

(二)輔助基準

1. 移除高溫環境暴露後，暴露勞工之急健康影響證據在一週內改善，且不再發生。
2. 作業環境之綜合溫度熱指數值與勞工作息時間條件超過高溫作業勞工作息時間標準之規範。
3. 在同一工作環境下之工作人員亦有類似之健康影響證據，且經合理排除其他非職業因素所引起之健康影響的常見原因。

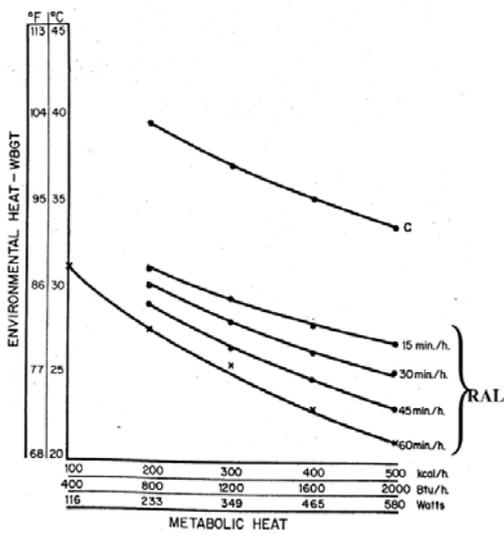


Figure 1. Recommended Heat-Stress Alert Limits (Unacclimatized Workers)

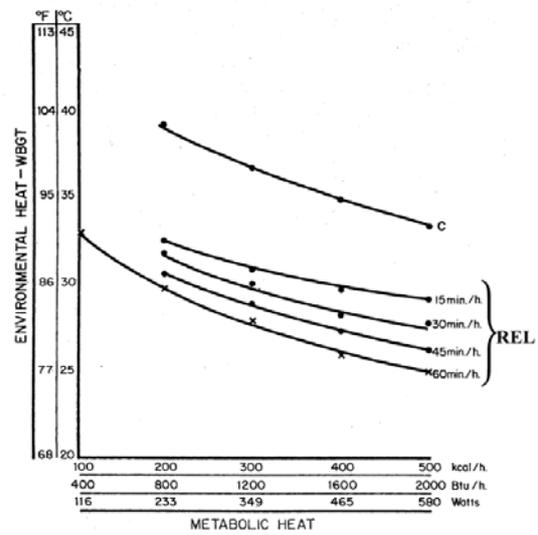


Figure 2. Recommended Heat-Stress Exposure Limits (Acclimatized Workers)

Workers)

¹ The figures' curves indicate recommended work/rest regimens for a combination of external heat (measured as wet-bulb globe temperatures) and internal (metabolic) heat. The 'C' curve is the Ceiling Limit, indicating that workers should not be exposed to such conditions without adequate heat-protective clothing and equipment.

附表一 NIOSH 的 RAL/REL 量表

修訂前後對照表

	修正前	修正後	修正原因
名稱	高溫日射病 (中暑)	熱危害作業引起疾病	

<p>(一) 主 要 基 準</p>	<p>無</p>	<p>1.具有符合中暑、熱休克、熱中風、熱衰竭、及熱痙攣等疾病之臨床診斷與表徵，可供參考之急性健康影響證據如下列：</p> <p>(1)體溫上升：</p> <p>(A)中暑、熱休克、熱中風：中心體溫超過攝氏 40.6 度（診斷必要條件）。</p> <p>(B)熱衰竭：中心體溫攝氏 38°C 至 40.5°C（診斷必要條件）。</p> <p>(2)心臟血管系統：心跳加速或收縮壓過低等休克的症狀。</p> <p>(3)神經系統：神經系統：神智異常、精神錯亂或迷糊現象（此為中暑、熱休克、熱中風之診斷必要條件）。</p> <p>(4)皮膚：體溫過高、流汗量異常、皮下出血。</p> <p>(5)肌肉：肌肉痙攣性疼痛、肌肉力量減少、或血清乳酸去氫酶素 (LDH)、血清肌酸酐磷酸酶 (CPK) 等增高之組織破壞的現象。</p> <p>(6)腎功能障礙：血中尿素氮、肌酸酐、血球比容值測定、尿蛋白、尿液比重、尿量等異常現象。</p> <p>(7)血液凝固異常：凝血原時間及有關凝血機制有障礙。</p> <p>(8)肝臟傷害：麩草酸轉胺基酶素 (AST)、和麩丙酮轉胺基酶素 (ALT) 之血中濃度增高現象。</p> <p>(9)電解質不平衡：鈉、鉀、氯、鈣、磷等電解質、及動脈血液氣體分析（酸鹼值、氣分壓、二氧化碳分壓）等電解質和酸鹼平衡指標異常。</p>	<p>明確增列中暑、熱休克、熱中風、熱衰竭、及熱痙攣等疾病之臨床診斷依據。</p>
------------------------------------	----------	---	---

	<p>(1)有高溫作業環境之暴露史和時序性：詳細詢問與記錄員工的工作史，包括：行業特性、工作環境、作息時間、工作內容、工作量、與境測定的結果等。勞工作業量的輕重、作息時間的分配、有無經過適應期的調適、工作環境的配合（有無合適休息處所、有無電解質液及水份的補給）等因素，與實際測定所得之綜合溫度熱指數間的相互影響，都應列入暴露量的考量。而健康的危害是在從事高溫作業後發生、或更加惡化。</p>	<p>2.高溫作業環境之暴露史，包括工作的描述、行業特性、工作環境、作息時間、工作內容、工作量等。勞工作業量的輕重、作息時間的分配、有無經過適應期的調適、工作環境的配合（有無合適休息處所、有無電解質液及水份的補給）等因素都需詳細記錄。</p> <p>(1)室內高溫作業可依勞委會高溫作業勞工作息時間標準之規範。</p> <p>(2)室外高溫作業暴露可參考附表一。</p> <p>(3)必要時進行現場WBGT的測定以及依據工作內容估算的內在產熱值，評估個體是否處於異常的日環境暴露條件之下(參考附表一)。</p>	<p>將暴露史作為一診斷要件，並將環境測定明確詳述。並明確訂定現場溫度測量基準。</p>
		<p>3.合理的熱急症發病之時序性。</p>	<p>將時序性作為一診斷要件。</p>
	<p>(3)已合理排除上述健康危害係由其他非職業因素所引起。</p>	<p>4.必須合理排除其他非職業因素可能引起體溫上升的常見原因。例如：藥物、全身性感染、內分泌疾病等所引起的體溫上升或暈厥情形。</p>	<p>文字修改並詳述內容。</p>
<p>(二) 輔助 基準</p>	<p>1.移除高溫環境暴露後，暴露勞工之急性健康影響證據在一週內改善，且不再發生。</p>	<p>1.移除高溫環境暴露後，暴露勞工之急性健康影響證據在一週內改善，且不再發生。</p>	<p>無修訂。</p>
	<p>2.作業環境之綜合溫度熱指數值與勞工作息時間條件超過高溫作業勞工作息時間標準之規範。</p>	<p>2.作業環境之綜合溫度熱指數值與勞工作息時間條件超過高溫作業勞工作息時間標準之規範。</p>	<p>無修訂。</p>

	3.在同一工作環境下之工作人員亦有類似之健康影響證據，且經合理排除其他非職業因素所引起之健康影響的常見原因。	3.在同一工作環境下之工作人員亦有類似之健康影響證據，且經合理排除其他非職業因素所引起之健康影響的常見原因。	無修訂。
--	--	--	------

八、參考文獻

1. Jones TS, Liang AP, Kilbourne EM, Griffin MR, Patriarca PA, Wassilak SG, Mullan RJ, Herrick RF, Donnell HDJr, Choi K. et al. Morbidity and mortality associated with the July 1980 heat wave in St Louis and Kansas City, Mo. JAMA 1982; 247(24): 3327-3331.
2. Ebi KL, Exuzides KA, Lau E, Kelsh M, Barnston A. Weather changes associated with hospitalizations for cardiovascular diseases and stroke in California 1983-1998. Int J Biometeorol 2004; 49(1): 48-58.
3. How CK, Chern CH, Wang LM, Lee CH. Heat stroke in a subtropical country. Am J Emerg Med 2000; 18(4):474-477.
4. Lal M HH, Takahashi K. Future climate change and its impacts over small island states. Climate Res 2002; 19:179-192.
5. Rowell LB. Cardiovascular aspects of human thermoregulation. Circ Res 1983; 52(4):367-379.
6. Wexler RK Evaluation and treatment of heat-related illnesses. Am Fam Physician 2002; 65(11):2307-2314.
7. Barrow MW, Clark KA. Heat-related illnesses. Am Fam Physician 1998; 58(3):749-756, 759.
8. Lee-Chiong Jr. TL, Stitt JT. Heat stroke and other heat-related illnesses. The maladies of summer. Postgrad Med 1995; 98(1): 26-36.
9. Jardine DS: Heat illness and heat stroke. Pediatr Rev 2007; 28(7): 249-258.
10. Judith E, Tintinalli GDK. J Stephan Stapczynski: Emergency medicine : a comprehensive study guide, 6th edn. New York: McGraw-Hill 2004.
11. Dematte JE, O'Mara K, Buescher J, Whitney CG, Forsythe S, McNamee T, Adiga RB, Ndukwu IM Near-fatal heat stroke during the 1995 heat wave in Chicago. Ann Intern Med 1998; 129(3): 173-181.
12. Bouchama A, Dehbi M, Chaves-Carballo E Cooling and hemodynamic management in heatstroke: practical recommendations. Crit Care 2007; 11(3):R54.
13. Bouchama A, Knochel JP Heat stroke. N Engl J Med 2002; 346(25): 1978-1988.
14. Hart GR, Anderson RJ, Crumpler CP, Shulkin A, Reed G, Knochel JP Epidemic classical heat stroke: clinical characteristics and course of 28 patients. Medicine (Baltimore) 1982; 61(3): 189-197.
15. Shibolet S, Coll R, Gilat T, Sohar E Heatstroke: its clinical picture and mechanism in 36 cases. Q J Med 1967; 36(144):525-548.
16. Sherman R, Copes R, Stewart RK, Dowling G, Guidotti TL Occupational death due to heat stroke: report of two cases. CMAJ 1989; 140(9): 1057-1058.
17. NIOSH: Criteria for a recommended standard: occupational exposure to hot environments, rev. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human

Services, Public Health Service, Centers for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication [1986].No. 86-113.

18. ACGIH: Documentation of the threshold limit values and biological exposure indices. 7th ed. Cincinnati, OH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists 2002–2006 Suppl.