

高温の許容基準（資料）

提案理由

1. 序

日本産業衛生学会許容濃度等委員会高温班が、高温の許容基準を最初に提案したのは1967年である。それ以後この基準にそって、産業現場の高温熱環境の指導・改善が行われ、生産技術の進歩と相まって、多くの高温熱問題が解決されたかのような状況にある。しかしながら、まだ主として中小企業・鉱山における各種作業では環境改善の余地が残されており、依然として高温熱下作業の存在に注目しなければならない現状にある。そのため1967年以後の高温熱下作業に関する知見の集積を参考にして、現状の高温熱下作業の評価と高温熱問題の統御に資するための許容基準の見なおしが必要となる時期に至っているものと考えられる。高温熱下作業が問題となる鉱山坑内作業については、1976年に熱中症その他の健康障害を防止するための見なおし作業が行われ、通産省指導基準として示されている。

本基準案は、熱中症などの健康障害は絶対に許すべきではないという立場を堅持し、好ましくない生理的反応があってはならないことを前提として定めたものである。しかし、本来作業環境条件としては、望ましい条件、すなわち最適条件を目指すべきであるが、この点に関しては将来検討すべき課題として保留した。

高温熱条件の測定法については、1977年本高温班によって検討され、別に「高温熱条件の測定法」として示してある。そこには、温熱条件の評価に当たっての基本的事項が述べられているが、高温熱条件の評価では、特に熱放射の要因を含めた評価の方法が望まれている。このような現状にかんがみ、本基準案設定の改訂作業に当たっては、このような点に十分に配慮した。

2. 熱放射の要因を含めた温熱条件の総合評価の指標として、WBGTを用いることにした理由は、次のとおりである。

1969年WHO¹⁾は産業現場で用いる温熱指標としては、環境要因、衣服、作業状態のことが考慮されているCET, P₄SR, HSI, index of thermal stress (Givoni)を推奨し、それぞれの得失について述べている。

1973年F.N.Dukes-Dobos, A. Henschel²⁾, およびNIOSH³⁾は、産業現場で利用することができる適切な温熱指標を選択するため、(1)現場に適用できることが実際に証明されていること、(2)環境温熱要素、代謝量などの重要な要因が考慮されていること、(3)測定や算出法が簡単であり、生理学的モニタリングが必要でないこと、(4)考慮されている要因が作業者の生理的ストレインに関連して有効な重み付けがなされていること、(5)現場のいわゆる規制基準を設定するに当たって、現場環境の広い範囲にわたって実用に適していること、の5項目を挙げて、1)を満足するものはET, WBGT, HSI, P₄SRであり、

それぞれの長所短所を検討し、望ましい指標としているのは、WBGTである。

このようなことからACGIH⁴⁾, OSHA⁵⁾では、温熱ストレスに対する生理的反応とよく相関する最もふさわしい温熱指標としてWBGTを採用している。一方1981年ISO⁶⁾は、高温環境の評価に用いられる温熱指標としてWBGTを取り上げ、WBGTを算出するための国際的標準の設定を目指している。このような情勢の中で本高温班は温熱指標としてWBGTを用いることにしたのである。

3. しかしながら、WBGT以外の指標で、ETあるいはCETは広く産業現場で適用され、温熱環境の評価に用いられて、有効な指標であることも知られている^{7),8)}。本高温班ではこの点を考慮して、WBGTで基準値を提案するとともに、CETを併記して参考に資するようにした。そしてETないしCETとWBGTとの関係については文献を参考した上^{7),9),10)}、Brief等の換算式を用いて示すこととした。

一方、J.H.Botsford¹¹⁾がwet globe thermometer (湿黒球温度計)を提案して以来、その性能が検討され有用な測定器具として推奨されつつあり^{7),10),12-15)}、NIOSH¹⁶⁾ではその使用をすすめているが、本高温班では、今後の検討をまつことにして、取り上げないこととした。

4. 次に高温の許容基準を設定するに当たって、生理的負担が増大を続けるような状態があってはならないことを前提として、体温調節機能に関係する温熱ストレインの程度を示す生理的指標として、心拍数、体温、水分喪失量を考慮した。この三つの要因については、その意義の検討がWHO¹⁾の報告でなされており、その内容は現在最も利用しうる生理的指標の勧告と考えられている。その中で最もよい指標として深部体温(直腸温)が取り上げられている。したがって本高温班でも生理的指標として、直腸温を取り上げ、これによって判断の根拠とした。

1950年ASHVE¹⁷⁾は高度の温熱ストレインとみなされる直腸温は102.5°F(39.2°C)であり、限界値として98~99°F(36.7~37.2°C)の直腸温が101°F(38.3°C)になるところで提案している。

Eichna等¹⁸⁾は直腸温38°Cでは作業に努力を要せず、訴えもなく、容易に作業を継続しうる。直腸温38.3°Cでは作業の継続に努力を要するとともに多くの訴えがでてくる。直腸温が38.9°Cに達すると作業の継続は不可能となる。と述べている。McArdle等¹⁹⁾は最大許容発汗率として4.5 l/4hを提案し、これは、2,500 Btu/hに相当し、ETでは90°F(32.2°C)、直腸温では101°F(38.3°C)に相当であると述べている。このようにEichna, McArdle等の報告では直腸温38°Cおよび38.3°Cが一つの目標となる。

Eillis等²⁰⁾は温熱環境下での曝露を中止すべき判定基準として、直腸温102.5°F(39.2°C)を提唱している。WHO¹⁾の勧告では実験室内であれば直腸温が39°C台に至らなければ作業中止の理由とはならないとしている。

したがって作業中止を目途とするならば直腸温39℃が目安となる。

体温調節機構の面から考察したものに Benzinger, T.H.²¹⁾のものがある。直腸温を調節する2経路である熱伝導と発汗とが効果的に働くのは直腸温が37.0℃から38.0℃の範囲であり、38.5℃(101.5°F)以上に直腸温が上昇すると、2経路による温熱調節過程は飽和に達するとしている。

Wyndham等²²⁾はBenzingerの体温調節過程に基づき検討を加え、熱伝導と発汗とによる体温調節経路が敏感に効果的に働きうる直腸温の範囲は100.4~100.6°F(38~38.1℃)であると述べている。一方、熱伝導率が飽和に達する直腸温は102.5~103.0°F(39.2~39.4℃)であり、発汗率が飽和に達する直腸温は102.0~102.5°F(38.9~39.2℃)である。したがってこれらの結果から2経路が飽和に達する直腸温は102~103°F(38.9~39.4℃)であるとしている。そしてET 89°F(31.7℃)では高温に順応した者では十分作業しうる。これは、2経路が効果的に働きうる範囲の上限である直腸温100.6°F(38.1℃)をこえないからであり、この範囲の上限をこえる直腸温101°F(38.3℃)では、作業完遂に困難さを覚え、作業の継続は個人の動機付けにかかってくると述べている。直腸温が102~103°F(38.9~39.4℃)にまで上昇すると2経路は飽和に達しほとんどの者が作業を継続しえなくなり、これを温熱負荷過度の状態と考えている。そして直腸温102°F(38.9℃)はETでは94°F(34.4℃)に当るとしている。以上のことから直腸温が38℃以上になると高温熱による何等かの障害を引き起こす可能性があり、直腸温38℃は高温熱下作業の許容曝露限界とみなされる。WHO¹⁾では重作業時の長期間連日曝露の条件で、直腸温が38℃を超えないことを勧告している。従って本高温班も直腸温が38℃をこえないということを一つの条件として許容基準を設定することとした。

次に直腸温の限界値38℃を目安として、この値以下のところで直腸温が環境温度条件の上昇によって、急上昇に転ずる変曲点を考慮することとした。すなわち温度条件が変化しても、体温調節の水準が定常に保たれ、直腸温の水準が変わらず、直腸温の水準が作業負担のみで決定づけられる範囲が存在するが、その範囲をこえると温度条件の上昇によって直腸温が急速に増加するようになる。この変曲点に関する最も利用できる文献はA. R. Lind^{23,24)}のものである。Lindの仕事はNIOSH²⁾Dukes-Dobos, Henschel²⁾によって提案されている高温熱に順応した作業者が、直腸温38℃をこえないで作業しうる環境要因と作業量との組合せを決定する基礎資料として利用された。

Lindの結果は上衣を着用していない高温熱に順応していない者で180kcal/hの作業時、環境温度条件は30.2℃(ET)、300kcal/hの時27.4℃(ET)、420kcal/hの時26.9℃(ET)である。NIOSH、およびDukes-Dobos, HenschelはLindの1970年の結果²⁵⁾を入れて次のように修正を加えた。すなわち180kcal/hの時30℃(ET)86°F

(ET)300kcal/hの時27℃(ET)80.5°F(ET)、420kcal/hの時25℃(ET)77°F(ET)である。更にこの結果を基礎にして、温熱熱に順応した作業者が作業衣を着用した時の変化量を勘案し、ETをWBGTに換算する関係式を用いて、作業量とWBGTで標示した高温熱条件との関係図を作成して、許容温度条件算定の資料を提供している。本高温班ではこの資料を基本的に参考として、許容基準を設定することとした。

環境温度条件と直腸温を含めた生理的反応との関係を検討したものに次のようなものがある。三浦らの報告²⁶⁾によれば、乾球温32~36℃、湿球温24~27℃、黒球温37~47℃、WBGTでは28.5~34.4℃に当るボイラールームでの1時間投炭作業で、火夫の直腸温が38℃をこえるのは、WBGTが28.5℃以上の時である。

鈴木らの報告²⁷⁾および三浦らの報告²⁸⁾では静臥時~軽作業時、直腸温、心拍数などの生理的反応の変動が大きくなるが、着実な上昇・増加に至らない温度条件は、湿度70%、気流0.1m/s以下の条件で、乾球温34℃である。この条件はCETで31.0℃となりWBGTに換算すると31.7℃となる。また、渡辺らの実験²⁹⁾で直腸温が38℃をこえず、しかも環境温の上昇につれて直腸温が上昇せず、体熱平衡を維持する能力が失われぬ上限を求めると、RMR3.0(210kcal/h)で、湿度80~90%、気流1.5m/sの時CETで28.1℃、WBGTで28.8℃である。この条件をこえると直腸温のほか、心拍数、皮膚温、発汗率などの生理的反応の諸測値が急増し始め、生理的負担が増大を続けるようになる。

これらの結果は、Dukes-Dobos, Henschelらの許容基準設定の基礎資料をもとに得られる値とよく一致している。

直腸温以外の生理的反応として発汗率に関するものとしてAdamら³⁰⁾のものがある。それは高温に順応した者で3.3kcal/minの作業時の限界はP₄SRで3.0ℓであり、これはほぼCET30℃に相当すると述べている。これをWBGTに換算すると30.5℃となり、提案値とよく一致する。

5. おわりに

本高温班が高温の許容基準を設定するに当たって行われた検討・討論の中で、高温熱下作業に関する知見は、多くの点において不十分であることが明らかとなった。次のような問題が今後究明されることが望まれる。

(1) 温熱ストレインとしての生理的反応に関するものうち、発汗効果に関する知見は積み重ねられつつあるが、未だ乏しいのが現状である。人への全温熱負荷を表現するよい生理的指標と考えられる発汗・蒸発効果に関する今後の研究が望まれる。更に生化学的反応に関する知見についてはほとんどないのが現状である。この方面の研究も望まれる。

(2) 現在用いられている温熱指標は、温熱曝露による温熱ストレインを直接評価するものではない。温熱指標と生理的反応との関係を明確にするための研究とともに、適切な温熱指標の開発が望まれる。

(3) 短時間あるいは短期間の高温熱曝露による人への効果についての知見はあるけれども、長時間ないし長期にわたる曝露の人への効果についての知見に乏しい。とくに健康、パフォーマンスへの効果に関する知見が不足している。産業現場での長時間・長期間にわたる観察が、これらの問題の解明に役立つであろう。

(4) 間歇的な温熱曝露の環境評価とその曝露が作業者に及ぼす効果についての知見が極めて少ないのが現状である。高温下作業と低温下休憩の繰返しの様態を解明することが望まれる。

(5) 精神神経作業などの機能への効果、災害との関係などの知見の集積が必要である。

(6) 衣服着装の効果に関する研究、とくに保護衣着用時の衣服効果に関する研究の積み重ねが必要である。

(7) 特殊作業たとえば消火救助活動など抗曝露着用時の衣服気候に関する研究も残されている。

(8) 温熱効果の季節差、性差、年齢差、体質差などの個体差に関する知見は必ずしも満足されるものではない。今後更に検討すべきものと考えられる。

文 献

- 1) Report of a WHO Scientific Group : Health factors involved in working under conditions of heat stress, WHO, Tech. Rep. No. 412, Geneva, 1969.
- 2) Dukes-Dobos, F.N. and Henschel, A. : Development of permissible heat exposure limits for occupational work, ASHRAE J., 15(9), Sept., 57-62, 1973.
- 3) NIOSH : Criteria for a recommended standard-Occupational exposure to hot environments, U.S. Department of Health, Education and Welfare, Health Services and Mental Health Administration, National Institute for Occupational Safety and Health, 1972.
- 4) ACGIH : Threshold limit values for chemical substances and physical agents in the workroom environment with intended changes for 1976. Threshold limit values, heat stress, 58-65.
- 5) OSHA : Heat stress standard, OSHA's Advisory Committee Recommendations, National Safety News, June, 89-94, 1975.
- 6) Draft International Standard. ISO/TC 159, 1981 : Hot environments-Determination of the wet bulb globe temperature (WBGT) heat stress index, International Organization for Standardization, 1981.
- 7) Brief, R.S. and Confer, R.G. : Comparison of heat stress indices, Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 32 : 11-16, 1971.
- 8) Pulket, C., Henschel, A., Burg, W.R. and Saltzman, B.E. : A comparison of heat stress indices in a hot-humid environment, Am. Ind., Hyg. Assoc. J., 41 : 442-449, 1980.
- 9) Walters, J.D. : A field assessment for a prototype meter for measuring the wet-bulb globethermometer index, Br. J. Ind. Med., 25 : 235-240, 1968.
- 10) Mutchler, J.E. and Vecchio, J.L. : Empirical relationships among heat stress indices in 14 hot industries, Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 38 : 253-263, 1977.

- 11) Botsford, J.H. : A wet globe thermometer for environmental heat measurement, Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 32 : 1-10, 1971.
- 12) Ramanathan, N.L. and Belding, H.S. : Physiological evaluation of WBGT index for occupational heat stress, Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 34 : 375-383, 1973.
- 13) Vincent, M., Ciriello, M.S. and Snook, S.H. : The prediction of WBGT from the Botsball, Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 38 : 264-271, 1977.
- 14) Johnson, A.T. and Kirk, G.D. : Correlation of WBGT and Botsball sensors, Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 41 : 361-366, 1980.
- 15) Onkaram, B., Stroschein, L.A. and Goldman, R.F. : Three instruments for assessment of WBGT and a comparison with WBT (Botsball) , Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 41 : 634-641, 1980.
- 16) NIOSH : Proceedings of a NIOSH workshop on recommended heat stress standards, U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control, NIOSH, 1980.
- 17) ASHVE : Report of committee on atmospheric comfort, Thermal standards in industry, Am. J. Public Health, Year-book, 1949-1950, 1950.
- 18) Eichna, L. W., Ashe, W. F., Bean, W.B. and Schelley, W.B. : The upper limits of environmental heat and humidity tolerated by acclimatized men working in hot environments, J. Ind. Hyg. Toxicol., 27 : 59-84, 1945.
- 19) McArdle, B., Dunham, W., Holling, H.E., Ladell, W.S.S., Scott, J.W., Thomson, M.L. and Weiner, J.S. : The prediction of the physiological effects of warm and hot environments, Med. Res. Council, London, Royal Naval Personnel Research Committee, Rep. No. 47/391, 1947.
- 20) Ellis, F.P., Ferres, H.M., Lind, A.R. and Newling, P.S.B. : The upper limits of tolerance of environmental stress, 158-179, in Physiological response to hot environments, Spec. Report Ser. No. 298. Med. Res. Council, London, 1960.
- 21) Benzinger, T.H. : On physical heat regulation and the sense of temperature in man, Proc. Nat. Acad. Sci., 45 : 645-659, 1959.
- 22) Wyndham, C.H., Strydom, N.B., Morrison, J.F., Williams, C.G., Bredell, G.A.G., Maritz, J.S. and Munro, A. : Criteria for physiological limits for work in heat, J. Appl. Physiol., 20 : 37-45, 1965.
- 23) Lind, A.R. : A physiological criteria for setting thermal limits for everyday work, J. Appl. Physiol., 18(1) : 51-56, 1963.
- 24) Lind, A.R. : Physiological effects of continuous or intermittent work in heat, J. Appl. Physiol., 18(1) : 57-60, 1963.
- 25) Lind, A.R. : Effect of individual variation on upper limits of prescriptive zone of climates, J. Appl. Physiol., 28 : 57-62, 1970.
- 26) 三浦豊彦, 森岡三生, 木村菊二, 田口貞 : 高温作業者の生理機能に及ぼす熟練の影響, 労働科学, 32(2) : 74-81, 1955.
- 27) 鈴木武夫, 石川清文, 川森正夫 : 高温環境下の生体反応について, 労働科学, 33(4) : 243-249, 1957.

- 28) 三浦豊彦, 木村菊二, 富永洋志夫, 石川孝夫, 阿久津綾子, 鈴木泰子: 外気温を考慮した夏季の冷房の至適温度に関する実験的研究, 労働科学, 40(7): 295-324, 1964.
- 29) 渡辺明彦, 肘村邦憲, 三浦豊彦: 炭鉱坑内温度基準についての実験的考察, 労働科学, 5(11): 631-646, 1975.
- 30) Adam, J.M., Collins, J.A., Ellis, F.P., Irwin, J.O., Jack, J.W., John, R.T., Jones, R.M., Macpherson, R.K. and Weiner, J.S.: Physiological responses to hot environments of young European men in the tropics, Med. Res. Council, London, R.N.P.Rep.No. 55/831, 1955.

(産業医学24巻 号545~548頁)