Bacterial Aerosol に関する研究

第 8 報 安静時および労働時における 人からの細菌飛散速度

Studies of Bacterial Aerosols

Part 8 Bacteria dispersal from humans into air comparing the rates at rest and during physical exercise

旭川医科大学衛生学教室

寺 山 和 幸・大 野 秀 樹・平 田 史 子・河 原 林 忠 男

北海道教育大学旭川分校

横 田 正 義・青 井 陽・中 田 秀 彦

Kazuyuki Terayama, Hideki Ohno, Fumiko Hirata and Tadao Kawarabayashi

Department of Hygiene and Preventive Medicine, Asahikawa Medical College, Asahikawa

Masayoshi Yokota, Yoh Aoi and Hidehiko Nakata

Hokkaido University of Education at Asahikawa, Asahikawa

A bicycle ergometer (50 W and 100 W for 2 hours) was used to study the effects of physical exercise on the rate of bacteria dispersal from individuals in a model laboratory with a ventilation rate of 1.2 times/hr. The mean halflife of airborne bacteria was found to be 3.3/hr, whether the person was at rest or during physical exercise, and the loss due to sedimentation was calculated at 2.1/hr. However, the bacteria dispersal per person tended to increase during the 50 W period which became significant at 100 W, over the rate at rest. The results suggest that the level of exercise affects the bacteria dispersal rate from humans and the amount of bacterial contamination of indoor air.

I. 結 言

労働作業環境においては、主としてそこで働く労働者の身体（鼻腔、毛髪、皮膚など）または着衣から飛散した細菌によって室内空気中の細菌汚染が起こる。このことは、労働環境衛生上考慮すべき点であり、食品関係の作業現場では重要な問題と思われる。Heldman¹⁾は、食品工場における実態調査から、室内空気中の細菌数が労働者の活動レベルと関連することを認めている。また、Bethune²⁾は、2.9 m³のチャンバー内で被験者が手足をバタバタ動かすと、被験者からの細菌飛散量が安静時より増加することを示している。これらの報告は、労働が人からの細菌飛散に影響することを示唆するが、労働作

業量が不明であり、定量的な解析とは言い難い。

本研究では、人からの細菌飛散に対する労働負荷の影響を定量的に評価することを目的として、自転車エルゴメーターにより被験者に一定の労働負荷を与えたときの人からの細菌飛散速度について、安静時との比較を行った。

II. 実 験 方 法

実験には第 5 報³⁾で述べたモデル実験室（容積 20.3 m³，換気回数 1.2 回/hr）⁴⁾を使用し、室内は被験者の入室前にあらかじめほぼ無菌的な状態にしておいた。被験者は普段トレーニングをしていない健康成人男子 4 名で、被験者の服装は半袖トレーニングシャツおよび長ズボン

のジャージとし、各実験毎に洗たく後の清潔なものを着用させた。安静時の実験では在室者数を 2 人または 4 人とし、被験者は 2 時間入室中床に座って安静を保った。労働負荷実験では在室者数を 2 人とし、自転車エルゴメーター (Monark, Sweden) により 50 W または 100 W の負荷を 2 時間入室中 2 人に交互に与え、計 60 分ずつの肉体労働を行わせた。

空中細菌数の測定は、被験者入室前 1 時間、在室中 2 時間、退室後 2 時間の計 5 時間行った。空中細菌の採取には、長時間スリットサンプラー⁵⁾ (M/G エアサンプラー, Mattson/Garvin 200 J, USA) を用いた。本機器は、シャール回転速度が 60 分/回転となるように時計モーターが内蔵され、また 1 分当たり 1 立方フット (1 ft³ = 28.3 l) の率で空気を吸引するように校正されている。菌の採取は、直径 14 cm のシャールに入ったトリプトソイ寒天 (栄研) 平板培地に、被験空気 60 分間で 60 ft³ 吹きつけて行った。菌の採取後、37°C、48 時間培養し、平板上に発育したコロニー (colony forming units: c. f. u.) を計数した。コロニー計数のとき、採取開始位置を基点として放射状に平板を 6 分画 (1 分画は 60°) した。1 分画中のコロニー数は、10 分間のサンプルすなわち被験空気 10 ft³ 中の空中細菌数に相当し、これを 1 ft³ に換算して 10 分毎の空中細菌数とした。

III. 実験成績

Fig. 1 は、安静 (在室者数 2 人または 4 人) および 100 W 労働負荷 (在室者数 2 人) の実験における空中細菌数の変動を示したものである。空中細菌数は被験者の入室後直ちに増加するが、やがて平衡状態が観測された。

Bourdillon ら⁶⁾ は、人の在室中空中細菌数の変動が平衡状態に達したとき、次の関係式が成り立つと述べている。

$$Ne = \frac{nB}{k} \quad (1)$$

Ne は平衡状態における空中細菌数、n は在室者数、B は 1 人当たりの細菌飛散速度、k は空中細菌の減衰速度定数である。

Fig. 1 に示されたように、平衡状態においても各時刻でかなりの動揺がみられる。この動揺が何に起因するのかはいまのところ不明であるが、本実験では入室後 70 分から 120 分までの実測値の平均を Ne とした。安静、在室者数 2 人のとき Ne = 6.0 個/ft³、4 人のとき Ne = 12.3 個/ft³ ともとめられた。一方、100 W 労働負荷時 (n = 2) では、Ne = 25.0 個/ft³ で安静時と比べ著しく高かった。

Ne : airborne bacteria equilibrium concentration, n : subjects. Two or four persons were inside the room as shown by the bar indicated in the figure.

Fig. 1 Variations in numbers of airborne bacteria

Fig. 2 Bacterial half-life at rest and during exercise

さらに、空中細菌数は、被験者の退室後すみやかに減少し、1 時間以内に入室前とほぼ同じレベルになった。

退室後の空中細菌数の対数を時間に対してプロットすると、一次反応型の減衰を示した (Fig. 2)。直線の傾きから減衰速度定数は、安静実験 (n = 4) $k = 3.30/\text{hr}$ 、100 W 労働負荷実験 (n = 2) $k = 3.34/\text{hr}$ と、ほぼ同じ値が得

Table 1 Changes in Bourdillon parameters

Experimental condition (subjects)	Number of cases	k (/hr)	Ne (c. f. u. /ft ³)	B (c. f. u. /min)
At rest { (2)	4	ND ^a	5.7±0.3	ND
(4)	4	3.35±0.20	10.4±0.9	103±7
During exercise { 50W (2)	4	3.30±0.13	9.3±1.8	184±38
100W (2)	4	3.33±0.15	25.8±2.9	511±56 ^{*b}

a: Not determined.

b: Significantly different from values at rest = *p<0.005.

k: half-life. Ne: airborne bacteria equilibrium concentration.

B: dispersal rate per person.

Values are expressed as means±S. E.

られた。しかし、在室者数2人の安静実験では、Neが小さすぎるためkを正確にもとめられなかった。

ここで在室者1人当たりの細菌飛散速度Bをもとめると、安静実験(n=4)では、平衡状態における空中細菌数12.3個/ft³にモデル実験室の容積(20.3 m³=717ft³)を乗ずると

$$Ne = 12.3 \times 717 = 8819 \text{ 個} \quad (2)$$

(1)式をBについて解くと

$$B = \frac{kNe}{n} = \frac{3.30 \times 8819}{4} = 7276 \text{ 個/hr} \quad (3)$$

1分当たりに換算して

$$B = \frac{7276}{60} = 121 \text{ 個/min} \quad (4)$$

と算出される。同様にして、100 W 労働負荷実験(n=2)では、B=499個/minともとめられた。

Table 1は、それぞれの実験条件下におけるBourdillonの式の各パラメーターの値を示したものである。空中細菌数の減衰速度定数kは、在室者数2人の安静実験を除いて、いずれの実験条件下でも約3.3/hrともとめられた。一方、在室者1人当たりの細菌飛散速度Bについては著しい差異が観測された。すなわちBは、50 W 労働負荷により安静時の約2倍、100 W 労働負荷により安静時の約5倍の値を示した。また、Studentのt-testにより安静時との有意差検定を行ったところ、50 W 労働負荷ではBは増加傾向を示し(p<0.1)、100 W 労働負荷によって有意の上昇が認められた(p<0.005)。

IV. 考 察

著者らは第5報³⁾において、ピンホールサンプラー⁷⁾を用いた測定から、人の在室および在室者数(あるいは気積)が空中細菌数の変動に著しい影響を与えることを報告した。M/G エアースンプラーを用いた本研究でも同様の結果が得られた。特に、被験者退室後の空中細菌数

の減衰速度を調べる場合、M/G エアースンプラーは測定者から飛散する細菌の影響を受けない。これに対し、ピンホールサンプラーは、サンプリング時間が2分間と短いので測定者の影響を受けやすく、空中細菌の減衰速度を測定することが不可欠である本研究には適さなかった。ただし、M/G エアースンプラーの空中細菌の採取率はピンホールサンプラーよりやや悪く⁴⁾、今後検討すべき問題点と思われる。

在室者から飛散した空中細菌の減衰速度定数kは、安静および労働負荷実験いずれの場合にも約3.3/hrともとめられた。Bourdillonら⁸⁾によれば、kは換気回数kvと落下による減衰速度定数ksとの和で示される。

$$k = kv + ks \quad (5)$$

本研究に使用したモデル実験室の換気回数は1.2回/hrであるので、空中細菌のkvは2.1/hrと算出される。Hambraeusら⁹⁾は、病院手術室における実験から、換気のないときk=1.9/hr、約12回/hrの換気を行ったときk=14.3/hrと報告しており、本研究の結果とほぼ一致している。

これまで人からの細菌飛散について、労働作業量との関係から定量的に評価した報告はほとんどみられない。本研究では、人からの細菌飛散速度に対する労働負荷の影響について検討を行った。在室者1人当たりの細菌飛散速度Bを安静時と労働負荷時と比較すると、50 W 労働負荷によりBは増加傾向を示し、100 W 労働負荷時では有意の増加が認められた。このことは、着衣の性状、作業姿勢を一定にした場合でも、人からの細菌飛散速度に労働作業量が影響することを示し、室内空気中の細菌汚染において考慮すべき要因であろう。

これらの見地から、今後は、労働作業環境における空中細菌数を実測し、室内空気中の細菌汚染の定量的評価を行うことが重要と思われる。

V. 結 論

室内空気の細菌汚染の主要な原因である在室者からの細菌飛散に関する検討の一環として、人からの細菌飛散速度に対する労働負荷の影響を調べ、次の結論を得た。

1. 在室者から飛散した空中細菌の減衰速度定数は、安静時、労働負荷時いずれも 3.3/hr と定められた。また、部屋の換気回数が 1.2 回/hr であることから、空中細菌の落下による減衰速度定数は 2.1/hr と定められた。

2. 在室者 1 人当たりの細菌飛散速度 B は、安静時 ($B=103$ 個/min) に比し、50 W 労働負荷 ($B=184$ 個/min) では増加傾向を示し、100 W 労働負荷 ($B=511$ 個/min) では有意の増加が認められた。このことは、人からの細菌飛散速度に労働作業量が影響することを示す。

本研究は昭和57年度文部省科学研究費および北海道科学研究費の補助を受けた。

なお、本論文の要旨は国際人間工学会連合第 8 回会議において発表した。

文 献

- 1) Heldman, D. R., Hedrick, T. I. and Hall, C. W.: Air-borne microorganism populations in food packaging areas, *J. Milk & Food Technol.*, **27**, 245-251 (1964).
- 2) Bethune, D. W., Blowers, R., Parker, M. and Pask, E. A.: Dispersal of staphylococcus aureus by patients and surgical staff, *Lancet*, **i**, 480-483 (1965).
- 3) 寺山和幸, 種市史子, 本間 寛, 河原林忠男, 横田正義, 青井 陽, 中田秀彦: Bacterial Aerosol に関する研究, 第 5 報室内における空中細菌, 落下菌, 床面付着菌の分析, *日衛誌*, **35**, 479-485 (1980).
- 4) 寺山和幸, 種市史子, 河原林忠男: 安静時における人からの細菌放出速度, *北海道医誌*, **55**, 367-370 (1980).
- 5) NASA: In "NASA Standard Procedures for the Microbiological Examination of Space Hardware, NHB 5340. 1", p.13, National Aeronautics and Space Administration, Washington, D. C. (1967).
- 6) Bourdillon, R. B., Lidwell, O. M. and Lovelock, J. E.: Studies in air hygiene, Medical Research Council, Special Report Series, No. 262 (1948).
- 7) 山崎省二: 食品工場における空気環境の衛生管理の意義とその細菌検査法, *ジャパンプードサイエンス*, **14**(4), 36-43 (1975).
- 8) Hambræus, A., Bengtsson, S. and Laurell, G.: Bacterial contamination in a modern operating suite, 3. Importance of floor contamination as a source of airborne bacteria, *J. Hyg.*, **80**, 169-174 (1978).

(受付 1982年10月18日)