

[別紙 1]

論文の内容の要旨

論文題目 水平層流式バイオロジカルクリーンルームにおける浮遊微小粒子の飛散に及ぼす患者、看護師およびシーツ交換の影響

指導教官 甲斐一郎教授

東京大学大学院医学系研究科

平成 12 年 4 月進学

博士後期課程

健康科学・看護学専攻

氏名 浅野美礼

1 緒言

1967 年に浮遊微生物を管理する NASA 規格が作られて以降、バイオロジカルクリーンルーム (BCR) が医学分野で利用価値を高め、整形外科領域や熱傷治療ユニット、白血病患者の治療で感染症の発生率を低下させたと評価されてきた。今後待機患者が増加し続けている臓器移植後のケアにも拡張され、BCR の重要性が増していくと考えられる。BCR での高度な治療を必要とする患者はセルフケアの維持が困難になることが多く、看護師は積極的なケアを提供する必要がある。しかし一般に厳しく管理されている BCR への入室に際して、清浄度維持の機能を負う一方向流の性質に則って BCR を正しく利用できているのかどうかという視点から、看護師の所作を検討しているものが見当たらない。そこで本研究では BCR における微小粒子の動き方についての基礎的データを得ることを目的として、米国連邦規格 (Fed. Std.209) でクラス 100 の清浄度を達成する BCR のモデル病室を設け、一方向流中での微小粒子数の動きを光散乱式自動粒子計数器で測定した。その結果を以下に記す。

2 方法

2.1 測定環境と供試材料

送風機付き空気清浄装置 (HEPA フィルタ濾過) を備えつけた BCR のモデル病室を設置し、光散乱式自動粒子計数器で毎分 3 回等間隔に空気 0.05m^3 を吸入し (10 秒間)、粒径 $0.5\mu\text{m}$ 以上の浮遊微小粒子数 (以下、粒子数) を計数した。浮遊微生物数 (以下、微生物数) は、M Air T™ で 6 分 20 秒間に 1m^3 の空気を吹き付けた専用 SCD 寒天培地を 37°C ・48 時間好氣的に培養し、コロニー計数単位を数えた。試験用粒子には STADDEX SC-051-S (粒径 $0.506\mu\text{m}$) を用いた。

看護師は素肌に①術衣、②その上からガウンを着て、③帽子と④マスクを着用した。⑤①～④はすべて非滅菌、かつ⑥不織布製品 (メコノム) を使用した。患者モデルとして甚平型患者衣を着装した看護実習用モデルさくら (身長 158cm、京都科学、以下患者モデル) を用いた。シーツは綿製の薄地平織りで、非滅菌だが未使用の清潔なものを用いた。

2.2 一方向流中の浮遊微小粒子の拡散

一方向流中の浮遊微小粒子の拡散の測定は、以下の通りである。一方向流中に障害物がない場合は、頭側から足側へ、0.3m/s または 0.5m/s の一方向流が送られているベッド上で、試験用粒子を送風面から 0cm、幅 80cm のベッドの右端から 40cm、ベッド上面から 40cm の点（以下、(0, 40, 40) と表記する）から発生させ、点 (x, 40, 40) で測定した。一方向流中に障害物がある場合は、以下の三通りの条件で測定した。(a)ベッド上に臀部中央を点 (40, 40, 0) に合わせた患者モデルを長座位で設置した。試験用粒子を患者モデルの胸に接する点 (50, 40, 40) から発生させ、点 (x, 40, 40) で測定した。(b)(a)の条件のうち、患者モデルの臀部中央を点 (10, 40, 0) に変更した。(c)(b)の条件のうち、障害物としての患者モデルを板に変更した。

2.3 患者のそばに看護師がいるときの空気汚染濃度の測定

患者のそばに看護師がいるときの空気汚染濃度の測定については、まず被験者である看護師の発塵強度を、閉鎖した無風の管理区域内でベッドサイドの往復歩行を 5 分間、延べ 50 往復連続して行ったときの粒子数を 12 セット計数して求めた。この看護師が 0.3m/s の一方向流中で患者モデルのベッドサイドにいる状態で、発生した微小粒子と微生物を測定した。

2.4 シーツ交換をしているときの空気汚染濃度の測定

シーツ交換をしているときの空気汚染濃度の測定として、0.5m/s の一方向流中でシーツ交換を行い、そのときの粒子数を測定した。1 回 5 分 30 秒を要するシーツ交換を看護師 1 名が繰り返して 10 回行った。

2.5 分析方法

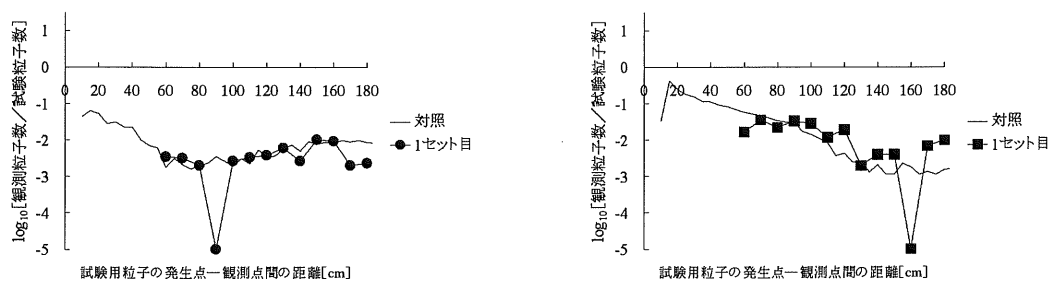
浮遊微小粒子の濃度もしくは拡散の程度を評価する値として、繰り返し 50 回測定した観測粒子数の発生粒子数に対する比の幾何平均値を対数変換して分析に用いた（以下、この値を $\log_{10}R$ とする）。 $\log_{10}R$ に対する一方向流の風速および発生点—測定点間の距離の影響を調べるために、風速 0.3m/s と 0.5m/s で 2 セットずつ測定した設定を第一水準に、距離を第二水準として、二元配置分散分析を行った。一方向流の風速に対する換気回数の比較には、指数関数である粒子数の減少過程を片対数軸にプロットすると直線の傾きが換気回数になることを利用して、2 群の傾きの差の検定を行った。

3 結果

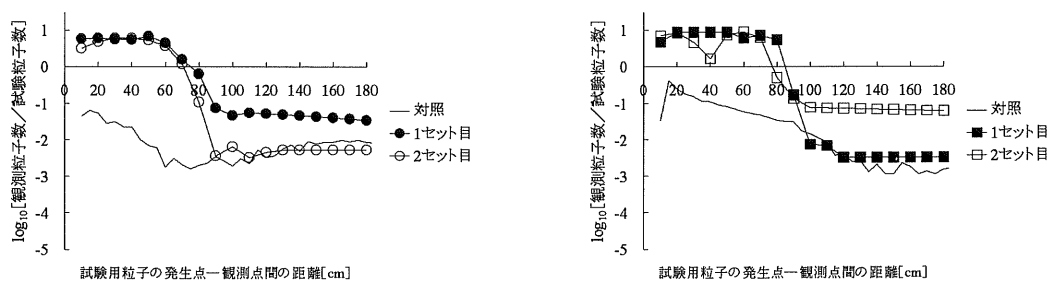
3.1 一方向流中の浮遊微小粒子の拡散

一方向流中に障害物がない場合、測定した区間全体について $\log_{10}R$ は負、すなわち観測された粒子数は発生させた粒子数より少なく、距離に対して 0.3m/s のとき 60cm まで、0.5m/s のとき 90cm までほぼ一定の割合で減少した。

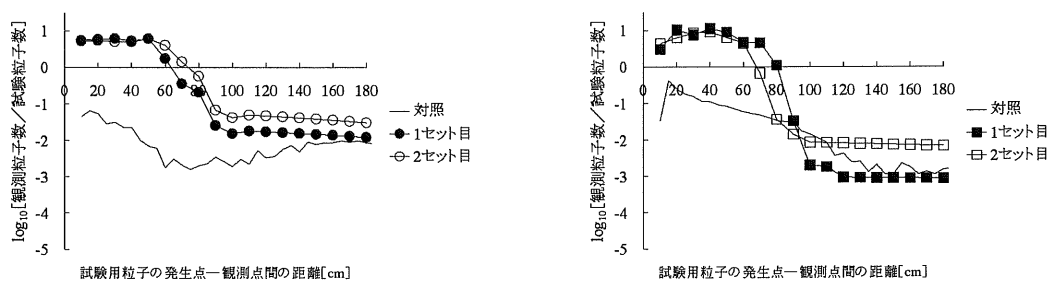
一方向流中に障害物がある場合の測定結果を次頁図 1 に示した。(a)では風速 0.3m/s のとき 90cm に、0.5m/s のとき 160cm に大きな谷が見られたが、他には対照と比較して特徴的な差異がみられなかった。一方、(b)では風速が 0.3m/s のとき 70cm まで、0.5m/s のとき 70cm もしくは 80cm まで $\log_{10}R$ は正すなわち測定された単位体積あたりの粒子数が発生させた単位体積あたりの粒子数よりも多かった。風速 0.3m/s で測定された 2 セットの $\log_{10}R$ はいずれも風速 0.5m/s で測定されたものより大きかった。また、試験用粒子の発生点からの距離が 20cm ないし 60cm の区間では $\log_{10}R$ に差は見られなかった。また(c)では、風速が 0.3m/s のときは 60cm ないし 70cm まで、0.5m/s のときは 60cm ないし 80cm まで $\log_{10}R$ は正だった。二元配置分散分析の結果は(b)の結果と同様であった。(c)において、点 (10, 40, 20) の換気回数は 4.5×10^{-3} (0.3m/s)、 3.4×10^{-3} (0.5m/s) で、2 群の傾きの差の検定によると、一方向流の風速が 0.3m/s のときより 0.5m/s のときの方が小さかった ($t=2.61$ 、 $p<0.05$)。



(a) 送風面から 40cm 風下に患者モデルを設置した場合、左：一方向流風速 0.3m/s、右：同 0.5m/s



(b) 送風面の直後に患者モデルを設置した場合、左：一方向流風速 0.3m/s、右：同 0.5m/s



(c) 送風面の直後に板を設置した場合、左：一方向流風速 0.3m/s、右：同 0.5m/s

図 1 発生させた試験用粒子数に対する観測粒子数の比 (R) の対数と発生点—観測点間の距離

3.2 患者のそばに看護師がいるときの空気汚染濃度の測定

看護師の粒子発生強度は平均毎秒 8.4×10^2 個/ m^3 ± 標準偏差 (以下、SD) 2.2×10^2 であった。この看護師が患者のそばにいる場合、看護師付近の粒径 $0.5 \mu m$ 以上の粒子数は全 107 回の平均で $10^{4.2}$ 個/ m^3 (幾何 SD 3.8×10^{-1})、また患者付近の粒子数は全 75 回の平均で $10^{3.7}$ 個/ m^3 (幾何 SD 2.9×10^{-1}) であった。微生物数については、看護師付近では平均 8.5 個/ m^3 (幾何 SD 0.54)、患者付近では平均 3.3 個/ m^3 (幾何 SD 0.53) であった。

3.3 シーツ交換をしているときの空気汚染濃度の測定

モデル病室でのシーツ交換では、交換中に変化が急なピークが三つ出現する過程が見られ、それは以下の場合であった。まず(a)開始からの 30 秒間に上シーツを半分、さらに半分にたたんだところ、次に、(b)90~150 秒後で下シーツの裾をマットレスの下から引き出して半分、さらに半分にたたんだところ、最後に、(c)240~300 秒後で新しい下シーツをすべて広げて裾をマットレスの下に折り込んで一致した。

4 考察

4.1 一方向流中の浮遊微小粒子の拡散について

臨床における一方向流中には少なくとも必ず患者の身体が障害物として存在する。2.2(a)は、患者が病室にいるときを再現するモデルとしてもっとも適当な系であると考えられたが、風速 0.3m/s のときと 0.5m/s のときそれぞれ特定の測定点 1 点のみで微粒子濃度の低下が見られたほかは、対照の結果と差異がほとんどみられず、伴流の存在を明確に示唆するような変動は見られなかった。この原因と考えられるモデル病室天井付近の対流の影響を抑えるために 2.2(b)を設定した結果、2.2(a)と比較して $\log_{10}R$ の変動に明瞭な特徴が表れており、伴流の存在が示されていた。風速 0.5m/s のときは、同様に行った 1 セット目と 2 セット目の測定の結果に再現性が保たれていなかったが、それは障害物の輪郭が直線的でないことが伴流の剥離の位置を不規則にしたためと考えられた。そこで 2.2(c)を設定した。障害物の風下 20~60cm では、粒子が滞留していることがわかる。その区間では一方向流の風速が大きいほど微粒子除去の能力が高いとは限らないことが示された。0.5m/s のときの再現性にめざましい改善はなかったが、これは形成される伴流が風速に伴って強くなっていたためであると考えられた。

4.2 患者のそばに看護師がいるときの空気汚染濃度について

結果からは、一方向流中で患者が看護師より風上に位置していても、患者が看護師由来の微小粒子・微生物に被曝する可能性があることが示された。既存の研究で一方向流中の微小粒子は角度にして 40~50° の広がりをもって拡散しながら移動していることが確認されており、患者付近で滞留している伴流の大きさが小さくとも 50cm に達していると考えられることから、看護師が患者のケアをするために患者のそばに位置するとき互いの発する微小粒子に両者とも曝露することは免れない可能性が高いと考えられる。

4.3 シーツ交換をしているときの空気汚染濃度について

ピークにいたる直前までの動作を調べてみたとき、シーツをたたむという動線の長い大きな操作によって強い発塵が見られたことが示された。一般にシーツには通気性のよさが求められるが、そのようなシーツは穴がたくさんあることが透過性を備えるために必然的に問題となる。人間由来の細菌や皮膚からの落屑、皮脂などが付着している使用済みのシーツを、空気をはらむ形で操作する限りは、空気中に放つ微小粒子数は減少しにくいことが予想された。

5 結論

一方向流中の患者に付随して形成される伴流、伴流による換気回数の低下と風速との関係、患者の微小粒子被曝への影響について、既存の研究では論じられていなかった以下の新しい知見を得た。モデル病室においては物理的に完全な層流が実現されているわけではなく、一方向流中にも乱流が見られた。空気の流れにとって障害物となる物や人がある場合、障害物の下流に一方向流とは明らかに異なる性質の流れ、すなわち伴流が付随していた。伴流が存在するとき、その中では換気回数の低下による微小粒子の停滞が見られ、一方向流の速さが大きいほど微小粒子の除去能力に優れているとは限らなかった。また一方向流中で患者が看護師より風上に位置していても患者が看護師由来の微小粒子に被曝する可能性が示唆された。

臨床看護への提言として、以下の二点を述べておく。①患者が微小粒子被曝を最小限にするためには、一方向流の風上方向から風向きと直角方向までの間の角度に顔を向けるのが望ましく、風下を向くべきではない。風向きが患者の頭から足の方向になるようにということに必ずしも固執する必要はない。②シーツに空気をはらむような大きな動作は避けるべきである。