

＜研究課題＞ドクターヘリ搬送における機内環境が患者に与える影響とその軽減方策の解明

代表研究者 山口大学医学部附属病院 先進救急医療センター 講師 金田浩太郎
共同研究者 山口大学大学院理工学研究科 教授 齊藤 俊

【まとめ】

病院前救急医療、災害医療の改善のためドクターヘリの導入が進んでいるが、ドクターヘリによる搬送が患者にどのような影響を与えるかは不明である。ドクターヘリ内の環境測定システムを確立し、ドクターヘリ内の環境を調査した。振動・騒音ともにヘリコプターのローター、テールローター、エンジンの回転数に対応した周波数にピークが認められた。今後、気圧・温度の測定、救急車との比較などを行っていく予定である。

1. 研究の目的

病院前救急医療体制の改善や災害に対する備えを目的に全国でドクターヘリの導入が進んでいる。一方で二次元的な移動を行う救急車と異なり、三次元的な移動を行うヘリコプターによる搬送環境、そしてその環境が患者に与える影響については不明な点が多い。

患者はドクターヘリによる搬送中に静加速度、振動、騒音、温度変化、気圧変化などの環境の変化にさらされることになる。健常人では問題とならない程度の環境の変化であっても重症患者や全身状態の不安定な患者ではこれらの変化が問題となる可能性がある¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾。救急車搬送では13.5%のクモ膜下出血患者に再破裂が認められたのに対してドクターヘリでは全く認められなかったとする報告もある⁷⁾。

本研究ではドクターヘリによる搬送が患者にどのような影響を与えるのか、その軽減のためには何が必要かを明らかにすること目的とした。ドクターヘリにおける被搬送患者に対する加速度、振動、騒音などの環境条件を測定し、ドクターヘリ内の機内環境を明らかにするとともに、比較対照として救急車内の被搬送患者の環境を調査し、救急車搬送と比較した場合の利点と欠点を明らかにする。

2. 研究方法と経過

研究計画ではマルチデータ収集システム KEYENCE 社 NR-600 及び RION 社 3 軸加速度センサー PV-97C 2 個を使用し 3 軸加速度、3 軸回転加速度を測定する予定であった

が、加振器によるセンサーの精度測定および実際のドクターヘリに搭載しての試験測定の結果から、低周波数領域の測定精度が低く、2つのセンサーを使用しての回転加速度測定にも精度が不十分であることが判明した。

再度低周波数領域の精度の高いセンサーおよび精度の高い角加速度センサーの選定を行った。検討の結果、3軸加速度の測定には共和電業社小型3軸低用量加速度計と共和電業社ユニバーサルレコーダ EDX-200A-2H を、3軸回転加速度の測定にはロジカルプロダクト社 GPS+9軸ワイヤレスモーションセンサを低周波数領域向け ($\pm 5G$ 、300dps) にカスタマイズしたものを選定。加振器による精度測定でも良好な結果が得られたためこれらを使用した。

2-1 3軸加速度、3軸回転加速度の測定

乗り物の座席振動の国際規格である ISO10326-1 に準じ、小型3軸低用量加速度計、GPS+9軸ワイヤレスモーションセンサをステンレス板の上に固定し、ゴム板で覆った測定用マットを作成した (図1、2)。



図1 加速度測定用マット



図2 回転加速度測定用マット

患者をドクターヘリ内に搬入後、測定用マットを患者の背部に設置しドクターヘリの

エンジン始動から停止までを EDX-200A-2H で記録した。

2-2 騒音測定

加速度測定と同様に ISO10326-1 に準じ、患者のベッド、壁から 10cm 以上離れた場所に設置できるようにスタンドを作成し患者の頭部から約 10cm の場所にマイクを設置。小型アンプを作成し EDX-200A-2H に接続した (図 3)



図 3 騒音測定用スタンドとマイク、イベントマーカー

ドクターヘリのエンジン始動から停止までを記録した。

2-3 パッケージング

ドクターヘリ内の空間は限られているため、コンパクトに携帯できるように小型のツールボックス内にパッケージングした。また、電源無しで測定できるように、EDX-200A-2H をバッテリー駆動するための電池ボックスを作成した (図 4)。



図 4 加速度および騒音測定システム

2-5 データ解析

測定完了後、EDX-200A-2H および GPS + 9 軸ワイヤレスモーションセンサよりデータを回収し解析を行った。

3. 研究の成果

3-1 3 軸加速度測定結果

測定を実施した約 25 分間のデータのうちほぼ定常飛行を実施していると思えることのできる 9 分後から 10 分間のデータを用いて検討を行った。静的な加速度成分 (Trend) を除去した変動分のみの進行方向 (Travelling direction)、横方向 (Transverse

direction)、及び、鉛直方向 (Vertical direction) 加速度の時間的な変化をそれぞれ図 5(a)~(c) に示した。3 方向ともほぼ同じ大きさの変動を示しており、若干鉛直方向成分の変動が大きい。

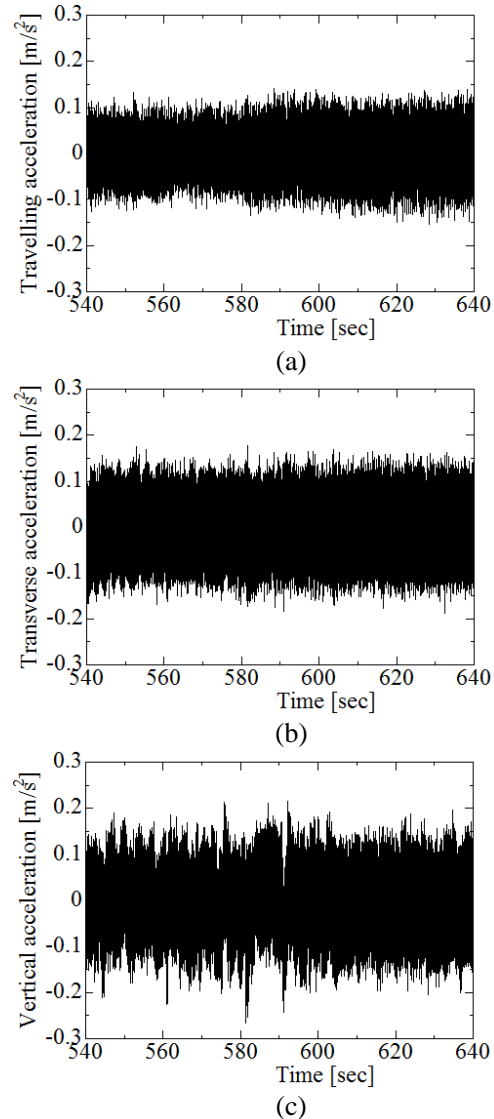


図 5 3 軸加速度の経時的変化

これらの時系列データに対するフーリエ変換を行い、周波数成分について検討した。時間 t の関数として表現できる時系列データ $x(t)$ の周波数領域 f へのフーリエ変換 $X(f)$ は次式で表現できる。

$$X(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-i2\pi ft} dt$$

取得データは、離散データであるのでこれを離散フーリエ変換の形式で表現し、FFT アルゴリズムに従って、フーリエ変換を行い、スペクトル $S(f) = X(f)X^*(f)$ を算出した。ここで、*は、複素共役を表している。その結果を図 6(a)~(c) に示した。6Hz、12Hz、24Hz などは、ロータ回転数に対応して現れる共振ピークであり、35Hz、75Hz などは、テールローター回転数に対応して現れる共振ピークで

あり、これらの整数倍の値などの2倍、3倍の成分も観察された。

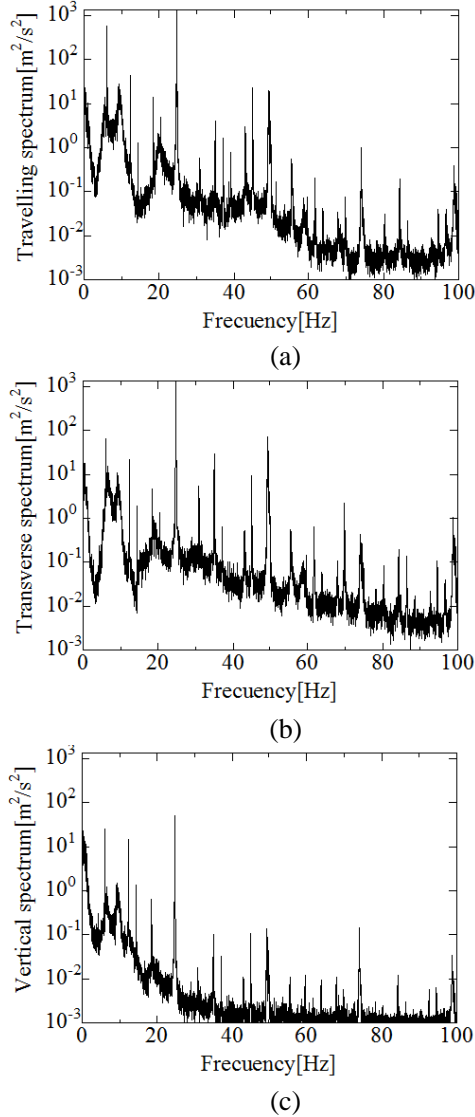


図6 3軸加速度のスペクトラム

本波形の周波数は、0~500Hzのものをすべて含んでおり、単純にRMS(Root Mean Square)値を計算すると70dB前後というかなり大きな値を示す。今後は、1~80Hzの成分を取り出し、周波数に依存する重み付けも考慮して振動加速度レベルの算出を行う。

3-2 3軸角速度測定結果

同様に、静的な角速度成分(Trend)を除去し、進行方向に対し回り(Rolling)、横方向回り(Pitching)、及び、鉛直方向回り(Yawing)角速度の時間的な変化をそれぞれ図7(a)~(c)に示した。ロール、ピッチ、ヨー方向に順に値が小さくなっているのが観察される。さらに、これらをフーリエ変換して得られるスペクトルを図8(a)~(c)に示した。角速度に対するスペクトルにおいても、ロータ回転数に対応する6Hz、12Hz、24Hz、テールローター回転数に対応する35Hz、75Hzにおいて共振

ピークが現れている。

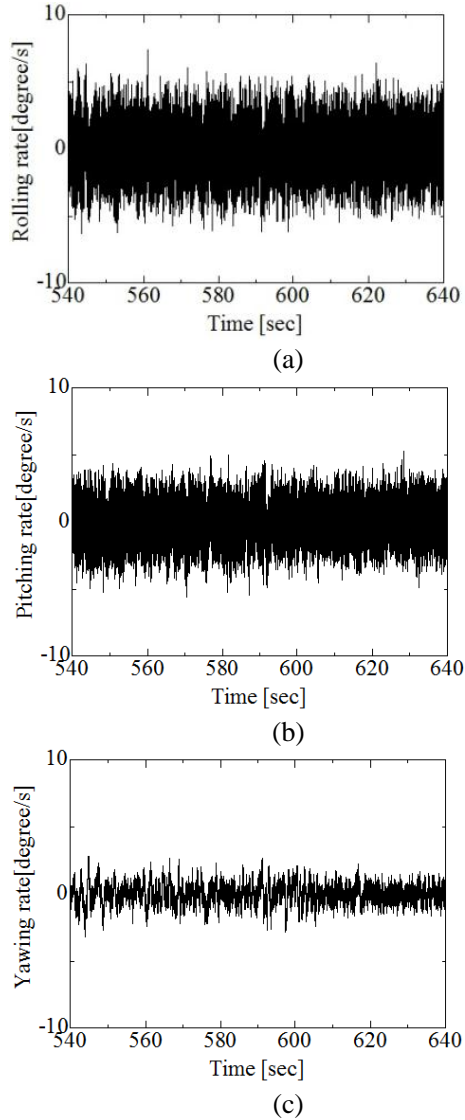
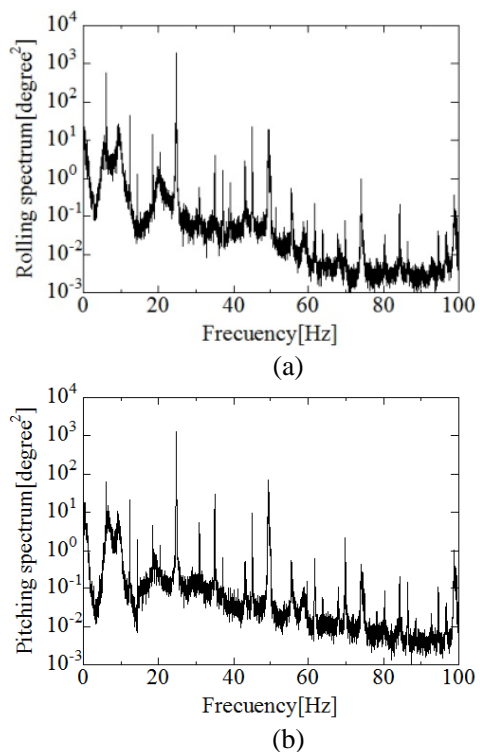


図7 3軸角加速度の経時的変化



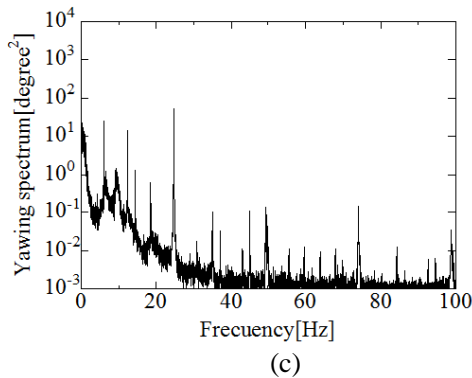


図 8 3 軸角加速度のスペクトラム

3-3 音圧測定結果

更に、音圧変動データを図 9 に対応するパワースペクトルを図 10 に示す。音圧においては、25Hz、50Hz、70Hz 辺りに共振ピークが現れており、700Hz、1.8kHz などにも顕著なピークが現れることが分かる。出力を 100%とした場合のロータの回転数が 383rpm、テールローター回転数が 2169rpm、エンジン回転数が 6000rpm であり、ロータは 4 枚翼、トレール 2 枚翼を含めたこれらの回転数の影響などが考えられる。

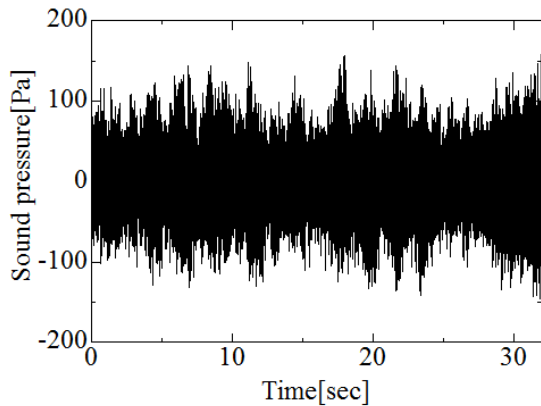


図 9 音圧の経時的変化

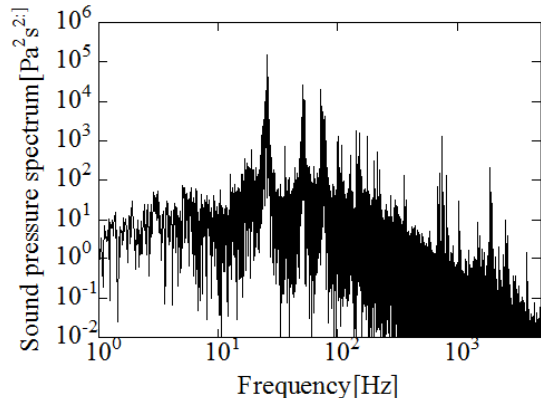


図 10 音圧のスペクトラム

4. 今後の課題

本研究によりドクターヘリ搬送時の振動、静的加速度、角加速度、騒音についての概要が得られた。現在、さらに詳細な解析を行っているところであるが、データが巨大なため、高速ストレージを用意し解析の高速化を図

っている。また、気圧、気温については測定系の確立を行っているところである。

本研究の最終的な目的は代表的な患者搬送手段である救急車とドクターヘリを比較し、それぞれの搬送にどのような特徴があり、患者にどのような影響を与えるかを明らかにすることである。それにより搬送手段の選択や搬送中の環境に対する対策を行うことが可能となる。そのためには救急車でデータの収集、患者の生体情報の収集も必要であり、現在準備を進めているところである。患者の生体情報の収集についてはすでに院内倫理委員会の承認を取得し、患者の自律神経バランスを評価するためのトライテック社チェックマイハートも準備ができたところであり、近日中にデータ収集を開始する予定である。

5. 研究成果の公表方法

本研究は第 23 回日本航空医療学会総会で発表予定である。また、解析を進め関連学術誌に投稿予定である。

参考文献

- 1) Liu Xinxin, et al, Circulatory and Central Nervous System Responses to Different Types of Mental Stress. *Industrial Health* 49;3:265-273
- 2) Liu Xinxin, et al, Comparison of Stress Responses between Mental Tasks and White Noise Exposure. *Journal of Physiological Anthropology* 26;2:165-171
- 3) 川前 金幸, 他, 救急車搬送が循環に及ぼす影響. *臨床モニター* 3 巻 4 号 349-355
- 4) Murakami Shougo, et al, Impact of outdoor temperature on prewaking morning surge and nocturnal decline in blood pressure in a Japanese population. *Hypertension Research* 34;1:70-73
- 5) 緒方 克彦, 他, 高圧・低圧で発症する減圧症について 航空機による減圧症 Altitude Decompression Sickness. *日本高気圧環境医学会雑誌* 35;4:225-230
- 6) 井上 登太, 他, 動脈血中酸素飽和度の変化に注目した航空機搭乗中の注意点. *呼吸器ケア* 5;2:139-143
- 7) 江崎 孝徳, 他, 脳血管障害におけるドクターヘリの役割 *Neurosurgical Emergency* 13;2:143-15

