

特 集

非常時の人工呼吸とその対応

被災時の対応

松川 周

キーワード：東日本大震災、津波、ライフライン途絶、人工呼吸

はじめに

2011年3月11日、未曾有の地震が石巻市を襲った。地震後に襲来した津波で、著者の勤務する石巻市立病院は1階の天井まで海水に浸かって、電気・上下水道等のライフラインが途絶し、外界との連絡が遮断され孤立した状態で5日間を過ごした。幸いにも患者の生

命の毀損はなかったが、重要医療機器のほとんどが使用不可能となり、入院を前提とした高度の診療は不可能となった。写真に被災前後の病院遠景を示す。津波被害の甚大さがお判りいただけると思う。

今回の被災経験を踏まえて、災害などの非常時の人工呼吸について考えてみたい。

震災前



震災後



日和山中腹から臨んだ、東日本大震災前後の病院遠景

上段は震災前、下段は震災後。画面中央の楕円で囲った建物が、石巻市立病院。震災以前は、病院周辺は民家が建ち並ぶ住宅地だった。震災時の津波によって民家は破壊され流失し、一面瓦礫の山となった。僅かに鉄筋の建築物のみが残っている。

石巻市立病院 副院長（麻酔科、集中治療室）

I. 東日本大震災による被災経験の概要

1. 地震発生から津波襲来まで

石巻市立病院は石巻市の北上川河口に位置し、河岸から約50m、海岸からは約400mの距離にあり、過去200年間の津波被害を勘案して、基礎は平均川面4.8mの高さに嵩上げされていた。5階建てで病床数は206床、1階には外来、放射線部、内視鏡室、給食、ドック、医事課が、2階には薬剤部、検査部、手術室・集中治療室、医局、総務課が、3階および4階には病室が、5階には食堂が配置されていた。

午後2時46分に地震の揺れがあった時、病院は日常業務の最中にあり、著者は病院の2階の手術室で胃全摘手術の麻酔に携わっていた。強烈な揺れが異様に長く（5分程度ともいう）続いて、著者は麻酔器が倒れないように押さえていた。それまで何度か行っていた火災を想定した避難訓練に準じて、手術室・集中治療室の安否および損害の確認を行った。手術室では前述の手術が1例行われており、集中治療室には人工呼吸から離脱したばかりの内科患者が1名在室していたが、手術室および集中治療室には物的・人的被害はほとんどなく、病院全体でも眼科外来の空調ダクトが天井から突き出した以外、目立った損害はなかった。地震直後に停電になったが、非常用発電装置が作動して電源は確保されていた。

その後津波警報発令の連絡があり、1階にいた外来患者、見舞客および職員、近隣よりの避難住民を2階よりも上に急遽避難させることにした。また、手術室の電源は非常用発電に切り替わっていて当面は手術の続行が可能ではあったが、津波襲来前に手術を完遂する時間的余裕はないと考えられたので、患部切除のみで再建はせず閉腹し、できるだけ早く患者を避難させることにした。そうするうち隣町の女川に10mの津波が襲来したとの報告が入った（実際は20mを越え、町は壊滅状態になった）。午後3時半を少し回った頃、手術室の麻酔自動記録画面と病院の院内電子情報システム画面が機能停止した。どちらのシステムもサーバーを1階に置いてあったために、津波による浸水で機能を停止したものと考えた。その時手術室ホール北面の窓から外を見たところ、住宅密集地だった病院の北側から日和山の麓までが一面の海と化していた。津波は何波かに分かれて襲来したが、最大高はおそらく海拔

8～10mに達していたと推測される。

2. 津波による被害状況

津波襲来時には手術は続行中で、非常用発電装置が停止した後は無停電電源装置（UPS）および機器内蔵バッテリーにより麻酔器およびモニターは使用できたが、无影灯は使用できなくなり、懐中電灯により術野の照明を確保した。UPSは約10分作動を持続し、容量が尽きて10分程度で閉腹が終了した。患者を麻酔から覚醒させないまま4階の病室に人力搬送し、病棟ベッド上で覚醒させ気管チューブを抜管した。

集中治療室では午前中に人工呼吸から離脱した内科患者がいたが、津波の襲来前に人力搬送で病室に上げた。幸いなことに、地震時には集中治療室にも病室にも、人工呼吸器を使用していた患者はいなかった。

地震による病院の人的被害はなく、物的被害も軽微であったが、津波による被害は甚大だった。病院の1階には、内視鏡装置、放射線診断・治療機器（一般放射線撮影機器の他、CT、MR、血管造影装置等を含む）および病院情報システム、手術室患者情報システム、心電図、画像などの電子情報システムサーバが置かれていたが、これらは一瞬にして機能停止に陥った。電気・上下水道等の病院のライフラインは壊滅状態になり、非常用電源設備は破壊され、電話やインターネットによる外部との連絡も遮断された。津波後10分程度は携帯のメールや通話も可能だったが、それらも直ぐに遮断され外部との連絡手段を失った。非常用の防災無線を2階の総務課に備えていたが、受信は可能でも発信は繋がらず、市庁舎との交信はできないままであった。防災無線は充電したまま週1回作動確認を行っていたが、肝腎な時に無用の長物と化した。

職員の人的被害は看護師2名、委託職員2名の計4名で、病院で勤務中の委託職員2名が1階にいて被害を受けた。看護師1名は津波から家族とともに避難しようとして流された。また、勤務明けで帰宅していた看護師長が、病院の防災マニュアル（震度5弱の地震があった時は、身の安全を確認後病院に集合する）に従って病院に戻ろうとしたところを、運転してくれていた義父と共に行方不明になった。準夜勤務のために出勤途上だった看護師や宿舎に残された看護師も数名いたが、皆九死に一生を得ていたのは不幸中の幸いと言える。

3. 外部との交信の寸断

病院周辺は水で覆われて交通が完全に断たれ、患者約 150 名、外来患者・見舞客等約 120 名、医師約 30 名、看護師・コメディカル・事務約 150 名の総計約 450 名が孤立状態に陥った。患者・家族は 3、4 階の病室に、見舞客等は病室ホールに収容し、救援の手を待つことにした。救援を待つ間看護体制を 2 交代制にし、患者の看護にあたった。栄養科・給食設備が 1 階にあり、水・食料が使用できない状況にあったので、患者に対しては 5 階の災害時用備蓄を配給することにしたが、職員分の食糧は病棟などにわずかにあった食糧を分け合うことにし、なるべく患者を優先した配給制を取った。当夜の職員への配給はパン一口ほどとなった。水分については自動販売機のものも緊急使用した。

雪混じりの気温の低い天候であったが、患者以外は床にダンボールやマットレスを敷いて就寝した。津波直後から流失家屋に火災が発生して病院間近まで火が迫り、河岸の離島定期船桟橋の船舶用燃料タンクにも火が移りそうだったため、患者を河岸の反対側に移動させたが、孤立状態にあったため生命の危険を強く感じた。

4. 孤立状態からの回復

被災 2 日目になって水位が下がってきたため、1 階に備蓄していた食糧を取り出すことができ、3 日目の昼になって自衛隊のヘリがパンを病院テラスに落としてくれたため、飢餓の危険性はなくなった。海上自衛隊や警察のヘリが散発的に病院を訪れたが、窮状は認識されず救援の手も届かなかった。

被災 3 日目の朝、途中で手術を中断した患者の手術完遂のため、救援を求めて外科部長と事務職員が冠水の中を石巻駅傍の市庁舎に向かい、昼頃になって石巻赤十字病院に飛来していた DMAT と連絡が取れ、患者を移送してもらう手筈が整った。DMAT は、依頼のあった患者 1 名のみの搬送を想定していたが、飛来時に病院の置かれている状況が初めて外部に認知され、閉じ込められていた入院・外来患者、家族・見舞客等の移送が計画された。まず緊急性の高い入院患者を院外にヘリコプター輸送し、被災 4 日目夜までに自衛隊のヘリの援助も受けて職員以外の全員が院外輸送された。職員は被災 5 日目にヘリコプターおよび徒歩にて院外へ脱出した。DMAT の活躍が無ければ、あと数

日は病院の孤立無援状態が続いたと考えられる。なお、当該手術患者は、被災 3 日目に石巻赤十字病院に術者および看護師と共に移送され、そこで手術を完遂した。

Ⅱ. 「非常時」に備えることとは？

今回の被災での根本的な問題は、地震のみに目が行って津波被害に対する認識が希薄だったことだと言える。このことは我々の病院のみに言えることではなく、災害対策のシステムそのものの問題であろう。通常ライフラインが途絶かつバックアップシステムが瞬時に破綻する状況は想像しがたいが、今回のような津波被害を伴う被災の場合、病院機能は一瞬で停止する。我々の経験から、人工呼吸と関連して災害対策がどうあるべきかを考えてみたい。

今回の被災では、当院で人工呼吸を行っていたのは手術中の患者 1 名のみであったのは、不幸中の幸いと言えるのかもしれない。多数の手術が同時に行われている場合や、集中治療室に人工呼吸施行患者が在室している場合は、円滑な患者移送やライフライン途絶後の人工呼吸継続に多大の困難を来したであろうことは、容易に想像できる。

人工呼吸器によって呼吸のサポートを行っている際には、人工呼吸器のみならず患者の生命維持に関連する様々な医療機器が必要であり、その多くは作動のために電源が必須である。人工呼吸器そのものも作動のためには電源が必須であり、さらに多くの場合酸素および圧縮空気の高圧ガス源を必要とする。

「非常時」という言葉から連想されるのは、地震、津波、洪水などの水害、火災、爆発などの大規模災害であろうが、病院がこのような被害を受けた時は、電気・上下水道・都市ガスといったライフラインは、程度の軽重はあっても被害を受けると考えなくてはならない。とくに、津波や洪水の場合は、ライフライン途絶を補完する非常用バックアップシステムまでも被害を受ける。つまり、非常時の人工呼吸を考えることは、非常時のライフラインの確保を含む医療システムのリスク管理を考えることと等価である。

Ⅲ. ライフラインの途絶と人工呼吸

1. 商用電力供給

大規模災害時には広範囲な停電が発生するが、停電になった時、病院の電源バックアップはどのようにな

っているのかを、医療者は知っておく必要がある。一般に電力会社は優先的に電力の供給の回復に努めてはくれるが、対処には通常数日を要する。今回の被災でも、麻酔科常勤病院での調査では3日以内に多くの病院が停電から回復しているが、1週間を過ぎても停電したままの施設が数施設あった。

病院は通常、非常用発電装置を設置しているが、ライフラインとくに水の供給が途絶した時に水冷では役に立たなくなることは、阪神・淡路大震災時に判明済みである。このようなリスクを考慮すると、非常用電源設備は空冷または水冷であれば予備タンクを設け循環させる必要があるが、宮城県下の麻酔科常勤病院の約4割は未だ水冷であった。非常用発電装置は重量もあり、空冷では冷却効率が水冷に劣るためにより大型となり、設置場所もほとんどは1階または地階になってしまう。しかし津波や水害を前提にするならば、発電装置の設置場所は高所が望ましく、安全確保のためには費用の問題はあっても病院建設時あるいは改築時には、これらを考慮すべきである。

UPSは今回のように非常用電源設備が機能停止した場合でも一定時間電力を供給することが可能で、対処に時間的な余裕を作る上で非常に有用であった。容量を大きく取るほど使用可能時間は長くなるが、設置の費用を考慮すると長時間の使用には適さない。可能な限り大容量とすべきだが、設置場所や費用対効果の問題もあり、あくまでも電源の瞬断や途絶に対応する緊急時の一時しのぎと考えるべきである。

また、ポータブル発電機の有用性も言われている。補助電源として、太陽光や風力などいわゆる再生可能エネルギーの利用も、今後考えるべきであろう。いずれにしても、商用電源の一系統にのみ依存するのは、危機管理としては脆弱性が高い。

2. 医療ガス（酸素、空気、吸引）の供給

人工呼吸時に使用する酸素、空気、吸引などは、中央配管で供給されている施設がほとんどであろうが、供給元が目に見えない分そのシステムがどのように成り立っているかについては関心が薄いかも知れない。通常、酸素は液体酸素タンクまたは大容量酸素ボンベから、空気は人工空気タンクあるいはエアコンプレッサおよび空気ボンベから、吸引は吸引ポンプで作成される。ここで考慮しなくてはならないのは、エアコンプ

レッサにしても吸引ポンプにしても、その作動に電源を必要とすることである。電源の供給が断たれば、空気および吸引は使用できなくなり、人工呼吸の継続は困難になる。

院内の医療ガスのパイプラインと供給元の破綻さえなければ、酸素および空気はタンクあるいはボンベの残存量が無くなるまでは使用が可能になる。今回、酸素および空気の供給は、病院を脱出するまで使用できた。人工呼吸を行う立場としては、電源が確保されているか否かと、残存ガス量でどの程度の時間人工呼吸が可能になるのかを、把握しておく必要がある。

3. 非常時の人工呼吸

1) 電源、医療ガス供給の途絶で人工呼吸器はどう機能するか（あるいはしないか）

高機能型の人工呼吸器は内部電源による作動のバックアップ機能を持っており、短時間の停電でも一定時間（通常20分程度）は作動する。搬送用人工呼吸器はさらに長時間（1時間程度）の作動が可能である。一般に普及型の人工呼吸器は廉価であるが、このような電源バックアップ機構は持たないことが多い。停電に対する安全性を考慮するなら、内部電源を備えた人工呼吸器を使用することが望ましい。ただし、作動時間は電源容量によって決定されるため当然限界があるので、あくまでも電源の瞬断や非常用発電装置が作動するまでの一時的な補助手段と捉えるべきである。なお、時間の経過とともにバッテリー性能が劣化するため、購入当初に保証されている機能が保持されている保証はない。厳密な作動可能時間の推測は困難であり、バッテリーの交換を含む普段の保守点検を必要とする。

人工呼吸は、集中治療室のような病院内施設で行われることが多いが、緊急時にはパイプラインが独立させられる構造になっていてかつ容量の大きな酸素ボンベを施設内に常備してあれば、酸素を逆送させて施設内で使用することが可能になる。空気と酸素のジャックの変換チューブを作成しておけば、酸素ボンベの準備のみで人工呼吸器を使用できる。

2) 電源途絶時の患者ケアをどうするか

人工呼吸器以外にも直接生命維持に関わる機器は多種多様であり、その多くは内蔵バッテリーを有していて、商用電源も病院内のバックアップ電源も途絶した場合でも、一定時間の作動は期待できる。

表 電源・医療ガス異常時の人工呼吸の作動

機器名	商用電源停止	電圧低下・瞬断	酸素供給圧低下・停止	圧縮空気供給圧停止・低下	製造元・製造販売元
EvitaXL	バッテリー駆動	換気継続	空気で換気継続	酸素で換気継続	Draeger
HAMILTON G5	バッテリー駆動	換気継続	空気で換気継続	酸素で換気継続	HAMILTON
Servo i	バッテリー駆動	換気継続	空気で換気継続	酸素で換気継続	MAQUET
PB840	バッテリー駆動	換気継続	空気で換気継続	酸素で換気継続	Tyco Healthcare
e360	バッテリー駆動	換気継続	空気で換気継続	酸素で換気継続	NMI
HUMING X	バッテリー駆動	換気継続	空気で換気継続	酸素で換気継続	Metran
R100	停止	停止	空気で換気継続	酸素で換気継続	Metran
3100B	停止	停止	空気で換気継続	酸素で換気継続	CareFusion 207

(富田敏司：人工呼吸器が突然停止したらどうするの？ 人工呼吸器とケア 第2版、岡元和文編、総合医学社、東京、2010、pp276-277 を改変)

人工呼吸時にとくに問題になると思われるのは、気道内吸引であろう。吸引は通常、中央配管を利用して行われている施設が多いと考えられるが、そのほかの吸引手段として、商用電源による電動吸引器、バッテリー駆動吸引器、高圧ガスのベンチュリー効果を利用した吸引装置、足踏み式吸引器などが存在する。利便性の観点から足踏み式吸引器は使用されなくなっているが、電源の完全途絶後には有効な気道内吸引手段はこれ以外には無くなるので、危機管理の観点からは常備していることが望ましい。

3) 高圧ガス源（とくに酸素）が途絶した時の対応

酸素または空気の高圧ガスの供給の一方が断たれても、どちらかの供給が確保されている場合は、酸素濃度の調節はできなくとも機器の作動は可能である（表）。ブロワーやタービンによって室内空気を使用して高流量の空気を作成するタイプの人工呼吸器は、圧縮空気の供給が断たれても作動を継続する。電源が生きていれば、室内空気を使用して作動する機器は多い（とくにブロワー使用のもの）。

最終手段として用手人工呼吸があり、酸素ボンベがあればジャクソンリース回路が使用可能であるが、ボンベのガス容量が使用時間の限界を決定する。中央配管やボンベによる酸素供給が途絶しても、自己膨張型蘇生装置（Ambu™ など）であれば、空気による用手人工呼吸は維持できる。無ければ最終的には人の力、例えば口-チューブ換気も念頭に置いておく。

4) 人工呼吸器を含む医療機器の固定

阪神淡路大震災時には、車輪を固定していなかった医療機器が動き回って危険だったといわれ、また一方、中越地震では車輪を固定していた医療機器が倒れたと

聞く。今回の地震では、周期がゆっくりだったためか、少なくとも当施設では機器の倒壊はなかった。地震の起こり方や建物の構造によっても異なるであろうが、人工呼吸器を固定しても固定を解除しても、どちらにも危険性はある。

天井からアームを吊り下げて人工呼吸器を搭載する場合は、病院の建物が崩壊しない限りそのような問題はない¹⁾が、建設時から計画する必要があること、費用が嵩むこと、アームの取り回しのために病床周りの空間（広さのみでなく天井高も考慮しなくてはならない）を必要とすることなど、解決しなくてはならないハードルは高い。

4. マンパワーの確保

今回の被災は週日の通常業務の時間帯であったため人員不足は生じなかったが、休祝日や夜間であったなら、人員の確保には多大の困難が伴った可能性が高い。非常時の人工呼吸には、人手を要する場面が多くなると予想される。病院には、何らかの非常時の対策マニュアルが存在するであろうが、多くは津波や洪水による被害を想定していないと考えられる。無用の医療者の人的損失を避けるため、少なくとも 10m 程度の津波襲来を前提にしたマニュアルに改定する必要がある。標高の低い立地の場合、津波の襲来がないのを確認しないと「安全確認」にはならない。今回は、マニュアル通りに行動したことで、無用の人的被害を起こしてしまった。「災害時にはすぐ駆けつける」というのは一般論としては正しいが、医療者自身が被災者となる可能性が高いため、自分自身および家族の安全の確保と、病院までの経路の安全確認が優先すると考える。

5. 患者・医療者の移送・避難、通信手段の確保

ライフラインの途絶は、津波や洪水などでは一瞬で起こりうる。人工呼吸患者に如何に人工呼吸を継続するかを考えることは重要だが、困難な場合には早期に自己の施設での継続に見切りをつけ、可能な限り早期に他施設に搬送する必要がある。孤立状態になることを想定し、陸路以外の搬送路（例えば屋上ヘリポート）を確保することが重要である。

それとともに必要なのが、病院の現状あるいは救助の必要性を外部に知らせる通信手段である。今回の我々の経験のように、完全孤立した場合は言うまでもないが、病院機能がある程度維持できたとしても、災害規模が大きくなれば単一施設だけでは対応不可能になるので、外部との連絡手段の確保が最重要課題になる。今回の我々の経験でも、通常の電話や携帯電話はもちろん、防災無線すら交信ができなかった。携帯電話は基地局が機能を失うと使用できなくなる。防災無線は週に一度交信が可能なことを確認していたが、病院開設以来10数年間バッテリーを交換した形跡がなく、バッテリーの劣化による出力の低下が疑われる。現時点では衛星回線の利用が最も確実だが、利用・維持に多大のコストが必要なことが採用のネックになる。仮に設備したとして、保守点検は必要で、今回の津波でも衛星電話を所持していてもバッテリーの劣化で使用できなかった例があると聞く。

6. 滅菌業務の破綻、機器器材供給体制の破壊

今回の被災で、停電のために滅菌装置が稼働できず、滅菌業務が滞ったために手術ができなくなった施設が多数出現した。人工呼吸患者でも、滅菌した器材を使用している場合は、人工呼吸の遂行・維持に支障を来す可能性がある。

ディスプレイの器材で対応している施設でも状況は変わらない。大規模災害時には機器・器材の供給体制も破綻するために、在庫が切れると対応が不可能になる。経済的合理性を追求すると必然的に在庫量は減少する。適正在庫がどの程度必要かの判断は困難であるが、物流の回復が見込まれるまでの期間分の備蓄は必要であろう（私見ではあるが最低でも3日分程度）。

7. 病院の立地、重要機器の高所への設置

日本列島は過去にほぼ1000年ごとに大規模な津波に

襲われているといわれている^{2,3)}。平野部でも最低海拔10m以上、三陸のように奥に行くほど狭隘化した地形では20m以上の津波の高さを想定する必要がある。病院が海岸や河岸近くの標高の低い地に建設されている例は多い。海や川からのアクセスがあることはメリットとなり得るが、地震・津波被害を考慮すると、基本的には津波被害の可能性のない場所を選ぶべきだし、海岸近くの海拔の低い場所にある病院では少なくとも10mの津波を考慮した体制に変える必要がある。経済的効率性のみを優先させることは、非常時の危険性を高める。人工呼吸のみならず高度医療の継続のためにはライフライン確保・維持は必須であり、平坦地でも重要機器は海拔10m以上の位置に設置する方が良いと考える。人工呼吸を含む患者の医療情報を電子化している施設は増えつつあるが、電子医療情報は病院運営の根幹に関わるので、各種情報サーバーおよび非常用電源設備等も同様である。

おわりに

今回の石巻市立病院の被災の状況について述べ、人工呼吸を含む非常時の対応の問題点を抽出した。津波被害に対する認識が無きに等しく、震災後に地域医療に十分な貢献ができなかったのは痛恨の極みである。災害対策は最悪の状況を想定したうえで策定すべきものと感じている。効率性を追求したシステムほど災害には弱くなる傾向がある。災害に強いシステム構築を目指して、阪神・淡路大震災時にも多元的分散型病院構築の提言がなされている^{4,5)}。しかし、災害には強くては平時には無駄と思える備蓄や建築などの投資が必要なので、日本の医療経済の理念の中では実現は困難であった。今後は経済的合理性の追求とリスク管理の重要性のバランスを何処で取るのか、対応を現場の熱意と努力に寄るのかではなく、医療全体の問題として真剣に考える必要がある。

参考文献

- 1) 増田貞満：阪神・淡路大震災と集中治療。設備の損壊状況と対応策。ICUとCCU。1995；19：505-510。
- 2) 佐竹健治，行谷佑一，山木 滋：石巻・仙台平野における869年貞観津波の数値シミュレーション。活断層・古地震研究報告。2008；8：71-89。
- 3) 箕浦幸治：津波災害は繰り返す。
<http://web.bureau.tohoku.ac.jp/manabi/manabil6/mm16-45.html>

2011 年 12 月 15 日

- 4) 丸川征四郎：大事故災害医療対応における考え方．経験から学ぶ大規模災害医療．丸川征四郎編．大阪，永井書店，2007，pp3-8.
- 5) 丸川征四郎，山内順子，藤田啓起ほか：兵庫医科大学集中治療部の状況と防災計画への提言．ICU と CCU．1995：19：483-490.