

被災地診療支援のための電子診療靴の開発と臨床

東北大学加齢医学研究所心臓病電子医学

山家 智之

(共同研究者)

東北大学サイバーサイエンスセンター	教授 吉澤 誠
東北厚生年金病院循環器センター	センター長 片平 美明
宮城社会保険病院循環器科	部長 秋野 能久
東北労災病院斤量者予防医療センター	センター長 宗像 正徳
仙台市立病院循環器科	科部長 八木 哲夫
宮城県立がんセンター循環器科	医長 大和田 直樹
宮城県立循環器呼吸器病センター循環器科	医長 柴田 宗一

はじめに

東北大学の調査では、東日本大震災では、これまでのすべての過去の、どの震災と比較して、循環器疾患の増加が観測される新たな現象が発見されている。すなわち、2011年3月11日以降、東日本震災の被災地では、心血管イベントが多発し、改めて自律神経機能診断による心血管系機能、凝固機能診断の重要性が指摘される結果となった。高血圧や心不全患者では自律神経機能の障害が観測されており、自律神経機能の定量診断は重要になる。東北大学は、心拍数だけでなく、動脈系、心収縮力の血圧反射機能の感受性を定量的に診断することができる全く新しい血圧反射機能測定装置を発明し、特許申請を行っている(特願2006-271105)。新しく発明された診断装置では、血圧の変動と、動脈の弾性を計測することで、回帰直線から血管の血圧反射の反応性を定量的に診断することができる方法論により動脈血圧反射機能の感受性の定量診断を具現化した。更にインピーダンス法により心拍出量を計測することで、心収縮性の血圧反射機能の定量診断も具現化している。倫理委員会を経た臨床試験において高血圧を持つ症例においては、心臓の血圧反射機能と動脈の血圧反射の感受性が共に低下している傾向が観測されており、高血圧の病態を形成する一部になっている可能性が考えられた。自律神経機能の改善のために、自律訓練法などの応用も提案されており、急性効果の確認のために血圧反射機能の比較を行ったところ、自律訓練法の訓練中にむしろ交感神経の賦活化が観測される興味深い結果も得られている。今後、統合医療の定量評価を目指して、本態性高血圧だけでなく、脳神経性の疾患、自律神経機能疾患、糖尿病などに伴う自律神経障害、循環器疾患等の精密な診断と治療に幅広い応用が期待できる将来性は大きく期待できる。現在、東日本震災で最も地震、津波、火災の被害が大きかった気仙沼地区などにおいて、被

災地におけるストレス、自律神経機能障害の臨床試験に着手を開始しており、臨床的な有効性の確認が期待される。

2011年3月11日の東日本大震災は、地震に津波、火災、福島原発のメルトダウンが加わったので、人類の歴史上最大の複合震災の様相を呈した。



図1 東日本大震災の津波被災（宮城県立循環器呼吸器センター医療サポートチーム撮影）

この震災は、被災地の生命、財産、健康を大幅に阻害したのみならず、被災者に多大な物理的、心理的ストレスをもたらした。



図2 被災地の津波避難所（県立病院静脈血栓予防診療チーム撮影）

被害を大きく拡大させ、ストレスを増大させたもっとも大きな要因の一つに、反原発運動家の風評被害がある。

全国で学生運動が華やかだった時代、原水爆実験禁止条約の時代には、隆盛を誇った左翼の運動家は、世界的にみても、どこでも、ほぼ一本調子の衰退曲線を描き、組織体として衰亡の一途であったが、東日本震災の原発事故を受け、大きく運動を盛り返した。反原発運動は、国民に不幸があると運動が拡大すると言う皮肉な側面があると言える。逆に言えば、原発に事故がない限り、本来は消滅していくはずの運動であった。問題は、被災地の人々のストレスである。反原発の運動家は、福島の不幸な事故を糧にして、大きく蘇ると同時に、ただちに原発の風評被害をまき散らし始めたことは特筆されてよい。結果として、反原発運動家は、被災地のストレス増大と、心血管イベントの増大に大きく貢献し、被災地の住民に対

する差別意識をもたらした。東北大学のデータでは、震災前後に心血管イベントの発症の増加が観測されている。

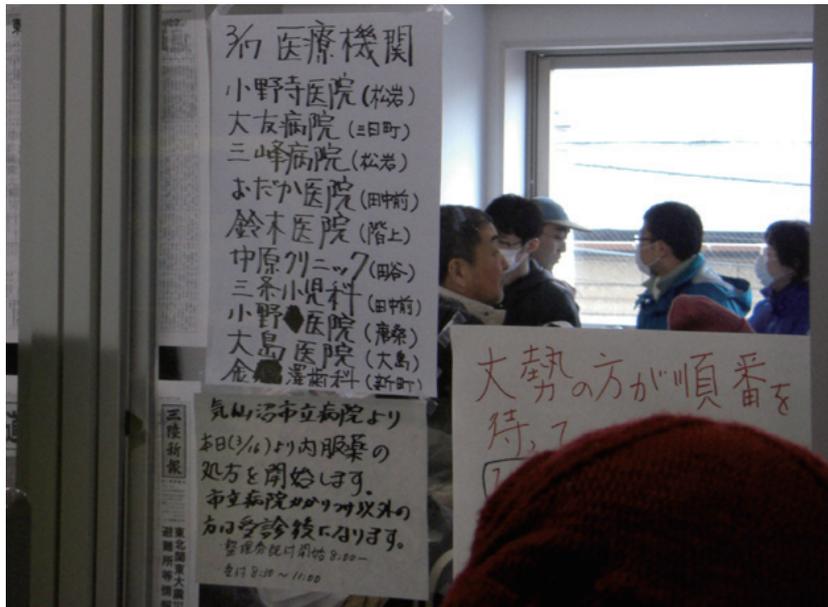


図3 払底する物資、現場に届かなかった薬剤

インターネットでは、反原発運動家によって無責任な流言飛語が飛び交った。関東大震災の時には、朝鮮人が暴動を起こすという流言飛語によって不幸な事件が多発したという歴史があるが、関東大震災クラスのようなデマが、反原発運動家によって現代に蘇ったともいえる。反原発運動家のまき散らした様々な流言飛語が、震災被災地に多大なストレスをもたらし、心血管イベントの多発を介して、せつかく津波の被害を生き延びたはずの多くの国民の命を奪った。反原発運動家の風評被害で家族は崩壊し、一家は離散し、産業は崩壊した。

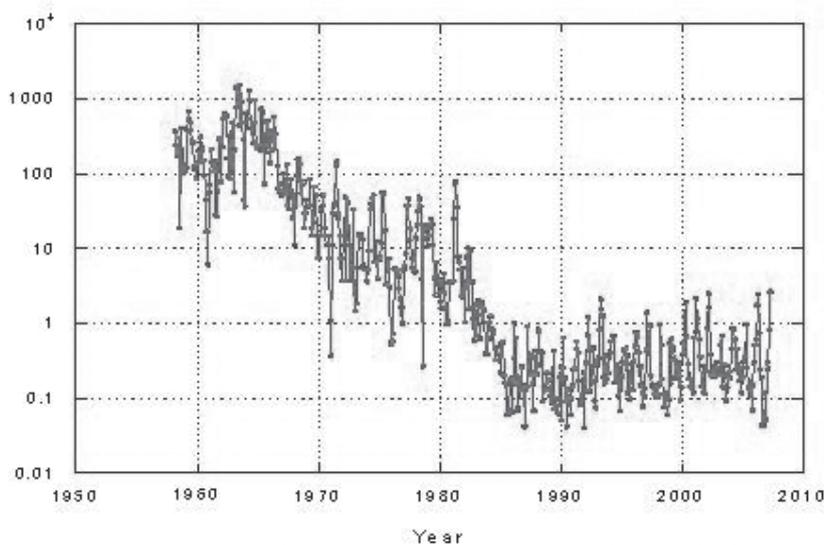


図4 日本の大気圏内プルトニウム降下量

現実には、日本では、世界中の50年代～60年代の太平洋などにおける大気圏内核実験を受けて、現在の千倍から一万倍に及ぶ大気圏内のプルトニウム降下を受けていた。従って、現在の日本人の40～50代の人口では出生直後から幼年期に現在の千倍に及ぶ核物質を被曝しているが、先天奇形の発生率も、発がん率も増加がみられていない。チェルノブイリの事故でも日本では大気圏内核物質降下量は一過性の増加を見せている。一時チェルノブイリで膀胱がんが増える可能性が指摘されたが、現在は統計的に完全に否定されている。

したがって、反原発運動家が、過剰に放射能被曝を宣伝することは、福島県の県民にとって、健康被害と風評被害をもたらす以外に益はなかったことになる。

同時に、反原発運動家による流言飛語は、被災地への物資輸送を止めた。原発の周辺では日用品や食料だけでなく、薬剤の輸送も止められたので、薬の不足により医学的な有害事象が多発することにもなった。

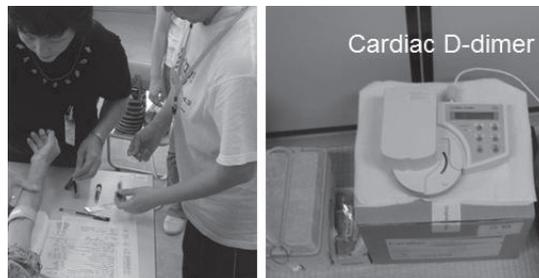


図5 被災地支援のための静脈血栓測定

これら反原発運動家の災厄がもたらす死傷者、困窮者、経済破綻者の数は、東日本震災の地帯から全国に離散しているので経済規模の把握は困難である。震災前の東北地方の人口は1千万近くであり、この1千万規模の日本人に加えて北関東、東京の人口が反原発運動家により有形無形の多大な被害を受けた人口であるという推定を行うこともできる。

原子力発電所はなくなっても日本の生活には影響はないかもしれない。リスクを考えれば、これ以上の原子力発電所の新しい建設は、事実上、不可能であろうし、止めなくてはならないが、日本人に最大の不幸をもたらしたのは反原発運動家であるという、明確な事実、歴史に記録しておかなくてはならない。

これまでも、そしてこれからも、反原発運動家の流言飛語は、被災地に多大なストレスをもたらしている。

被災者の人命を救助するためにも精密なストレス負荷の測定は必須である。

ストレス機能測定の方法論

人体はストレスを受けると有形無形の影響により自律神経機能、心血管機能、線溶系、凝固系の機能が大きく影響を受ける。交感神経が優位になり、心拍数増大、末梢血管抵抗の増

加は、血圧の上昇から脳卒中、解離性大動脈瘤の破裂などの致死的な心血管イベントに直結する。凝固系の亢進は深部静脈血栓症をもたらし、肺梗塞などの病態に直結すると同時に、心房細動からの血栓塞栓症も増加させる。

すなわち、反原発運動家がデマを流せば、流すほど、日本人は、風評被害で、どんどん死んでいく状態になるともいえる

うっ血性心不全の症例には自律神経機能の障害が認められることが知られており、心拍変動は、心不全の病態を反映する最も重要なパラメータの一つである。従って重症度の定量的な診断のために、循環動態のゆらぎについての確に診断をしていけば、医学的に精密なフォローアップや、リハビリテーションを施行できることになる。心拍変動や、循環動態のゆらぎのパラメータについてはいくつかの方法論について報告が行われているが、周期性のゆらぎ成分については、呼吸性周期のゆらぎ成分と、より低周波のゆらぎ成分として0.1 Hz前後のゆらぎ成分の存在が重要である。この10秒前後の周期のゆらぎ成分は、血圧反射機能の発振によって発生するという仮説が提唱されている。

血圧反射機能は、生体の恒常性を維持する最も重要な制御機構であり、本態性高血圧患者の一部においては、この血圧反射制御の感受性が障害され、血圧が上昇しても自律神経を介した制御機構が働かず、血圧が上昇したまま維持されることが知られている⁽¹⁻⁶⁾。特に若年性の高血圧では、この自律神経制御機構の破綻が、本態性高血圧症の病態において、極めて重要な役割を担っていることが報告されている⁽⁷⁻¹⁰⁾。

これまで、心臓の血圧反射機能の感受性については、血圧を変化させる薬剤などを投与することによる血圧変動に対する反応性の心拍数の変化を計測し、血圧の変動量に対する心拍数の変動量から最小二乗法を用いた回帰直線の傾きを計算することにより、診断を行が行われてきた⁽¹⁻¹⁰⁾。しかしながら、心拍数の変動を観測するだけでは、心臓を支配する自律神経に関する反応性を診断することができるが、動脈系の血管抵抗を支配する自律神経の反応性に関しては診断することはできない。

生理学の教科書にもあるように、例えば、交感神経の緊張時には、心臓交感神経の反応で、心拍数は増加するが、血管系に関しては抵抗血管の拡張などにより、血流量を増加させる方向へ働く⁽¹¹⁾。更に、血管の反応性も臓器ごと、部位ごとに異なる。このように、自律神経系に関しては、地域性の反応があることが知られており、人体の臓器ごと、領域ごとに異なる反応を呈することも多く、心臓の反応だけで、全体を診断することは必ずしも正しくない。神経変性疾患や糖尿病などで自律神経障害をきたす場合には、自律神経障害の程度は、部所により様々な度合いを示すので、心臓と血管の自律神経障害は独立に診断する必要がある。更に動脈硬化などにより血管弾性が変化すれば、動脈系の反応性も低下するので、これも、心臓とは独立に診断しなければならない。しかしながら、これまでに、動脈系の血圧反射機能を診断する方法論に関しては、その方法論自体、報告されておらず、メドラインで国際医学文献を渉猟しても検索できず、特許庁の特許検索、アメリカ・ヨーロッパの特許検索においてもこのような方法論の特許は過去に申請されていない。また、心臓の血圧反射には、心

拍変動だけでなく、心臓の収縮性についても自律神経機能の支配が報告されているが、心臓の収縮性についての血圧反射特性については、過去に報告は行われていない。

心拍数だけを計測する血圧反射機能の診断法では、洞結節を支配する自律神経機能は診断できるが、血管支配の自律神経、心収縮力を支配する自律神経は診断することができない。そこで、東北大学加齢医学研究所及び関連病院群、サイバーサイエンスセンター、大学院医学系研究科、フクダ電子、福島大学などの研究チームは、新しく動脈系の血圧反射機能を発明し、特許の申請を行い、開発を進めている。

動脈系を支配する自律神経の反応は、必ずしも全く心臓の自律神経反応と完全に同じ方向に反応するわけではなく、様々な外乱や病態の変化に応じて、様々な対応を行ってホメオスタシスを維持している⁽¹²⁻¹⁴⁾。そこで、血圧反射機能における心臓の反応性だけではなく、動脈の反応性を計測する装置を発明した。発明の代表的な実現の形態においては、心電図、あるいは心音図、及び、各動脈の脈波などによる脈波伝播速度の計測を行い、動脈の弾性を診断し、血圧の変動に対する動脈弾性の変動の反応を計測し、その回帰直線から血管の血圧反射機能を定量的に診断するシステムである。この代表例では、心電図と脈波のみの極めて安価で簡便な計測で、血管の血圧反射機能の診断を具体化しているため、東日本震災被災地にも応用できる。

心電図のR波の発生、あるいは、心音図のII音の発生により、心臓の収縮開始時点を規定する。心臓収縮の開始時点は、心電図、心音図のほか、超音波による心臓断層法、ドプラ法による血流計測なども応用できる。更に、上腕、手首、指先、大腿部、あるいは足首などで計測された脈波の立ち上がり時点から、脈波が心臓から到達した時点を計測する。これらの方法論により、脈波伝播時間の連続計測を行い、血圧の変動に対する反応性の脈波伝播時間の変動を計測する。これと同時に、血圧の変動に対する心拍の変化を、計測することにより、血管の血圧反射機能と同時に、心拍の血圧反射機能も計測することができる原理になる。更に、インピーダンス法により一回拍出量をモニターすれば、心拍変動だけでなく、心収縮性の血圧反射機能定量診断も行うことができる。

被災地の診療のための遠隔診療用電子診療靴

地震、津波、火災、および原発事故の複合震災に襲われた現地では、壊滅した病院診療所の支援策として遠隔医療が強く求められる結果になった。

遠隔医療診断には、救命救急に関わる高度医療から、2次医療、1次医療、更には予防医療の分野にまで展開が構想される。緊急時や、救命救急が必要な病態においては一刻も早い高次医療機関への搬送が望まれるが、高次医療資源には国内では経済的にも限りがあり、緊急ではない、予防医療などの現場においても医療情報の伝送など、先進ITによる高精度の医療が望まれている。



図6 自律神経機能診断を行うことができる被災地における電子診療鞆

これまで、心臓の血圧反射機能の感受性については、血圧を変化させる薬剤などを投与することによる血圧変動に対する反応性の心拍数の変化を計測し、血圧の変動量に対する心拍数の変動量から最小二乗法を用いた回帰直線の傾きを計算することにより、診断が行われてきた⁽¹⁻¹⁰⁾。しかしながら、心拍数の変動を観測するだけでは、心臓を支配する自律神経に関する反応性を診断することができるが、動脈系の血管抵抗を支配する自律神経の反応性に関しては診断することはできない。生理学の教科書にもあるように、例えば、交感神経の緊張時には、心臓交感神経の反応で、心拍数は増加するが、血管系に関しては抵抗血管の拡張などにより、血流量を増加させる方向へ働く⁽¹¹⁾。更に、血管の反応性も臓器ごと、部位ごとに異なる。このように、自律神経系に関しては、地域性の反応があることが知られており、人体の臓器ごと、領域ごとに異なる反応を呈することも多く、心臓の反応だけで、全体を診断することは必ずしも正しくない。神経変性疾患や糖尿病などで自律神経障害をきたす場合には、自律神経障害の程度は、部所により様々な度合いを示すので、心臓と血管の自律神経障害は独立に診断する必要がある。更に動脈硬化などにより血管弾性が変化すれば、動脈系の反応性も低下するので、これも、心臓とは独立に診断しなければならない。しかしながら、これまでに、動脈系の血圧反射機能を診断する方法論に関しては、その方法論自体、報告されていない。

そこで、東北大学加齢医学研究所及び関連病院、情報シナジーセンター、フクダ電子、福島大学などの研究チームは、新しく動脈系の血圧反射機能を発明し、特許の申請を行い研究開発を進めている。

例えば、心不全の症例では自律神経機能の障害が認められることが知られており、心拍変動は、心不全の病態を反映する最も重要なパラメータの一つになっている。従って、心臓血管病のフォローにおいて、重症度の定量的な診断のために、循環動態のゆらぎについての的確に診断をしていけば、医学的に精密な管理の具現化が期待できることになる。心拍変動や、

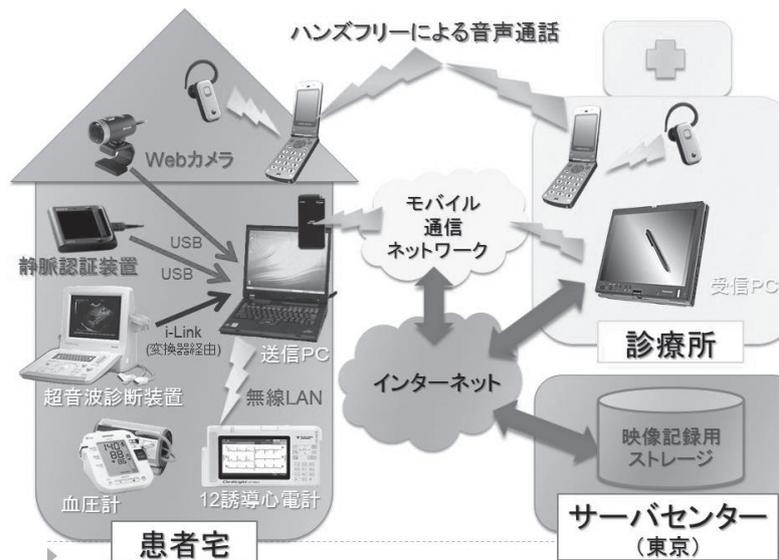


図7 電子診療靴による医療支援

循環動態のゆらぎのパラメータについてはいくつかの方法論について報告が行われているが、周期性のゆらぎ成分については、呼吸性周期のゆらぎ成分と、より低周波のゆらぎ成分として0.1Hz前後のゆらぎ成分の存在が重要である。この10秒前後の周期のゆらぎ成分は、血圧反射機能の発振によって発生するという仮説が提唱されている。血圧反射機能は、生体の恒常性を維持する最も重要な制御機構であり、本態性高血圧患者の一部においては、この血圧反射制御の感受性が障害され、血圧が上昇しても自律神経を介した制御機構が働かず、血圧が上昇したまま維持されることが知られている⁽¹⁻⁶⁾。特に若年性の高血圧では、この自律神経制御機構の破綻が、本態性高血圧症の病態において、極めて重要な役割を担っていることが報告されている⁽⁷⁻¹⁰⁾。また、自律神経系に関しては、地域性の反応があることが知られており、人体の臓器ごと、領域ごとに異なる反応を呈することも多く、心臓の反応だけで、全体を診断することは必ずしも正しくない。神経変性疾患や糖尿病などで自律神経障害をきたす場合には、自律神経障害の程度は、部所により様々な度合いを示すので、心臓と血管の自律神経障害は独立に診断する必要がある。更に動脈硬化などにより血管弾性が変化すれば、動脈系の反応性も低下するので、これも、心臓とは独立に診断しなければならない。

被災地の医療現場への電子診療靴の計測システムの展開

これまでに仙台市の救急車、宮古島などの遠隔離島などにおいて、電子診療靴の救急情報転送がトライアルされており、良好な結果が得られている。すなわち開発した電子診療靴は、救急現場や、在宅医療への展開はすでに担保されたと判断されている。

その段階で、東日本大震災が発生し、沖縄どころではない医療過疎地が東北地方に大量発生する結果になった。

大和証券ヘルス財団の支援を受け、東北大学大学院医学系研究科倫理委員会の審査を経て、大震災被災地の電子診療靴の臨床展開を試みた。



図8 電子診療靴の臨床試験を行った気仙沼地区の避難所



図9 電子診療靴による遠隔医療による被災地医療支援

最近、本邦で開発され普及しつつある腕と足首の脈波計測による脈波伝播速度の簡便な計測装置は、臨床最前線における血管弾性の簡便な計測を具現化した。動脈硬化などで障害とされる血管弾性のパラメータとして急速に普及している。この方法論を応用すれば、世界で初めて、生体の血圧反射制御機構の血管反応性に注目した血圧反射感受性が計測できる原理

となるので、新しい知的財産として特許を申請した。本システムにより、心拍変動のパラメータや、心拍変動、血圧変動のスペクトル解析による自律神経機能評価だけでなく、脈波伝播時間のスペクトル解析も行うことが出来る。動脈系のゆらぎ解析は過去に報告がなく、地域性反応がある自律神経系における新しい機能診断として将来性が注目される。

血栓計測による被災地のストレスケア

過大なストレスは、凝固機能の亢進を伴い、逆に言えば、震災被災地などにおける血栓症のフォローは自律神経機能診断に有効である。

加齢医学研究所では東日本大震災発生に当たり、関連病院と協力して被災地の医療支援に従事した。



図10 被災地医療支援

震災発生後1ヶ月目までにDVTスクリーニング検査を受けた津波被災避難者255名（平均年齢 70.6 ± 12.8 ）で、DVTの陽性者数は65名（ $65/255$, 25.5%）であった。

加齢医学研究所関連病院のデータでは 外傷を指摘された群でのDVT陽性者数は12名（ $12/20$, 60%）で外傷のなかった群（ $53/235$, 22.6%）と比べ有意に高かった（ $P = >0.001$, オッズ比4.385, 95%CI =1.876-10.249）であった。無症状のDVTを34名（ $34/65$, 52.3%）に認め、症状の有無によるDVTの存在には有意な差を認めなかった（ $P=0.433$ ）。施設毎にDVTスクリーニングに対する考え方が異なるため、結果的にDVTスクリーニング対象群や観察頻度が施設毎に異なり、DVT発生頻度にバイアスがかかりやすい状況になっている。

臨床的にDVTが疑われる患者に対する静脈エコーを用いた診断の正確さは認められているものの、無症状の患者に対するDVTスクリーニング検査としての静脈エコーはまだ議論が分かれている。

東日本大震災後、宮城県内では最大1,323ヶ所の避難所が開設され31万人が避難した。災害時の静脈血栓塞栓症（venous thromboembolism: VTE）予防のため、震災発生翌日より避難所での静脈血栓症（deep vein thrombosis: DVT）スクリーニング検査を開始したが、下肢に外傷を認めた避難者にDVTを多く認める傾向があった。また無症状の方にもDVTを認める事が多かった。

震災発生後1ヶ月目までにDVTスクリーニング検査を受けた津波被災避難者255名（平均年齢70.6±12.8）で、DVTの陽性者数は65名（65/255, 25.5%）であった。被検者の中で検査時に下肢に外傷を指摘されたのは20名（20/65, 7.8%）であった。外傷を指摘された群でのDVT陽性者数は12名（12/20, 60%）で外傷のなかった群（53/235, 22.6%）と比べ有意に高かった（ $P = >0.001$, オッズ比4.385, 95%CI =1.876-10.249）であった。検査時に指摘され初めて気づく方が多く、外傷として医療機関を受けた方は数名程度であった。津波に飲まれた際や浸水地域から脱出の際に、足元の漂流物等で受傷したと考えられた。また無症状のDVTを34名（34/65, 52.3%）に認め、症状の有無によるDVTの存在には有意な差を認めなかった（ $P=0.433$ ）。

宮城県内では地震と津波により死者9,508名、行方不明者1,778名、負傷者4,132名の人的被害が2012年2月6日までに確認されている。東日本大震災では死者行方不明者数が負傷数を上回るのが特徴である。過去の震災と比較すると津波被害のなかった1995年阪神淡路大震災で、死者行方不明者6,437名、負傷者43,792名、2004年新潟中越地震では、死者68名、負傷者4,805名と津波被害のなかった震災では死者行方不明者数よりも負傷者数が圧倒的に多かったのに対し、津波被害があった1983年日本海中部地震では、死者104人、負傷者163人、1993年北海道南西沖地震では、死者行方不明者231名、負傷者307名と津波被害のあった震災では死者行方不明者数と負傷者数が均衡している。

2004年にインドネシア西部、スマトラ島北西沖のインド洋で発生した地震では巨大津波が発生し、インドネシアのみならず、インド洋沿岸のインド、スリランカ、タイ王国、マレーシア、モルディブ、セーシェル共和国、ソマリアなど東アフリカ等でも被害が発生した。USAIDの報告書によると死者数約175,000人、行方不明者約50,000人となっている。インドネシア共和国スマトラ島北端にあるアチェ州で震災発生3～8ヶ月後に行った7,935名分（年齢性別確認可能7,392名）の聞き取り調査によると、津波による死亡の割合は17.7%、外傷の割合は8.5%であったと推定され、やはり死者行方不明者の割合が負傷者の割合に比べて高い特徴を示している。年齢で分類した死亡率と負傷率の割合を見てみると、幼児や老人で死亡率は高く負傷率は低い傾向にあるが、中年層ではその逆の傾向を示している。年齢別にみた死亡率と負傷率は鏡像関係にある。つまり幼児や老人は一旦津波にのみ込まれると逃げ延びられる可能性は少なかったが、中年層は津波から脱出できたものの無傷ではなかった。

2005年パキスタン北東部カシミール地方で発生した地震では、死者数73,000名、負傷者数126,000名の人的被害があった。同地震での津波被害はなかった。この震災により脊髄損

傷となった患者187例を対象とした前向き研究において、DVT発生頻度は9例（4.8%）であったと報告されている。血栓の有無は静脈エコーにて判定されている。見つかった血栓はいずれも抗凝固療法にて4週後にはエコーでの消失が確認されている。また血栓予防を行っていた症例ではDVTを認めなかった。対象者の内訳は46%の不全対麻痺、43.3%の完全対麻痺、4.8%の不全四肢麻痺、5.9%の完全四肢麻痺をであったが、対象者の平均年齢は28.3±12.4歳と若かった。

別のグループによる報告では、同じパキスタンの震災により脊髄損傷となった患者194例（対象患者の77%は16歳から39歳）対象とした後ろ向き研究において、DVTの発生頻度は3例（2%）で、そのうちの1例は肺塞栓症で死亡したと報告している。一般的な脊髄損傷患者におけるDVT発生頻度は、韓国の報告では連続37例（平均年齢53歳）で機械的予防法を行い静脈エコーで評価したところ16名（37%）のDVT発生を認めている。日本の報告例では52例（平均年齢54歳）で機械的予防法を行い静脈エコーにて評価したところ11例（21%）にDVTを認めている。2005年パキスタンでの震災により発生した脊髄損傷患者でのDVT発生頻度は高いとは言えない。対象年齢は比較的若かったために低く出た可能性は否定できない。

2つの外傷外科学会（American Association for the Surgery of Trauma と Eastern Association for the Surgery of Trauma）317名に対しアンケート調査を行った報告がある。外傷患者の全例に静脈エコーを行うかの質問に対し、賛成28%、反対62%、どちらともいえない10%と反対意見が多かった。一方でハイリスク患者に対する静脈エコーでのDVTスクリーニング検査に対しては、賛成74%、反対18%、どちらともいえない8%と賛成が多かった。またDVTに関して無症状の外傷患者に静脈エコーでスクリーニングを行うかの質問に対しては、賛成53%、反対36%、どちらともいえない11%であり、60%の施設で無症状患者にも静脈エコーを行うとは明記されていなかった。いつ？どれくらいの頻度？で行うかの質問に対しては、73%が入院後6日以内と回答し、61%が毎週静脈エコーを行うのが望ましいと回答していた。施設毎にDVTスクリーニングに対する考え方が異なるため、結果的にDVTスクリーニング対象群や観察頻度が施設毎に異なり、DVT発生頻度にバイアスがかかりやすい状況になっている。

静脈造影はかつてDVTに対する標準的診断方法とされていたが、適応の制約や侵襲性、手技の困難さ、コスト面での問題があり、DVTを疑った症例に対してルーチンに検査としては適していなかった。その後登場したインピーダンスプレチスモグラフィ（impedance plethysmography : IPG）は下肢DVTを疑う患者に対する最初の非侵襲的な検査であったが、静脈造影との比較において近位部DVTに対する感度は65%前後であった。またIPGは非閉塞性の近位部DVTや静脈経路が存在する閉塞性近位部DVTを検出できないこともあり、さらには下腿限局性のDVTを検出することが不可能であった。

静脈エコーは1980年代からDVTの診断方法として臨床上用いられるようになった。1989年のLensingらの報告によると、連続220例のDVT疑い患者に対して静脈エコーを行い、圧迫法での血栓検出の感度は91%、特異度は99%であり、連続45症例で観察者間一致率は

100%であった。下腿限局性のDVTに限っては感度36%と低かった。1998年のKearonの報告では、症状のある近位部DVTに対しては静脈エコーが最も正確であるが、無症状の近位部DVT患者に対しては静脈エコーもIPGも正確ではないとしている。また症状のある遠位部DVTに対する静脈エコーの正確性は近位部に比べて劣るため、臨床上的有用性は不明としている。2007年に報告されたVENUS studyでは、整形外科手術後1,104例において術後7±2日以内に、静脈造影と静脈エコーを24時間以内に施行した。静脈造影で18.9%、静脈エコーで11.5%の患者にDVTを認めたが、静脈エコーでは低い検出率となった。静脈造影に対する静脈エコーの評価では、全てのDVTに対し感度31.1%、特異度93.0%、近位部DVTに対し感度21.0%、特異度98.7%、遠位部DVTに対し感度30.8%、特異度93.3%であった。整形外科手術後の患者に対し、静脈エコーで無症状のDVTを検出するには信頼が足りないと判断された。その後VENUS studyで静脈エコーの感度が低かった原因を調査した研究が報告された。静脈造影と静脈エコーで結果が一致しなかった症例の80%以上が下腿限局性DVTであった。その原因の40%は血栓が小さすぎてエコーでは検出できなかったことで、18.7%は静脈エコー読影者による血栓の見落としであった。小さな血栓の見落としを防ぐために、静脈エコー検査時の圧迫間隔は2cm以内を推奨している。またVENUS studyでは膝や股関節術後の患者が含まれるために、浮腫や血腫によってエコーでは観察しにくい環境にあったことも影響していた。臨床的にDVTが疑われる患者に対する静脈エコーを用いた診断の正確さは認められているものの、無症状の患者に対するDVTスクリーニング検査としての静脈エコーはいまだ議論が分かれている。

東日本大震災発生後1ヶ月目までにDVTスクリーニング検査を受けた津波被災避難者225名のうち外傷を指摘されたのは20名(7.8%)であった。避難所内での数であるため入院するような外傷は含まないが、2004年スマトラ島沖地震による津波で被害を受けたインドネシア共和国アチェ州で行った聞き取り調査で推定された外傷の割合8.5%に近い値であった。津波被災避難者で外傷を指摘された方のDVT陽性率は、外傷のなかった方と比べ有意に高かった。今回外傷のあった津波避難者のDVT陽性率は、2005年パキスタン地震で外傷により脊髄損傷となった患者でのDVT陽性率2-4.8%と比べると非常に高い割合であった。しかし調査対象者の平均年齢には大きな差があり一概には比べられない。またDVTスクリーニングとしての静脈エコーの方法には各施設間で考え方に差があり、DVT発生頻度にバイアスがかかりやすい状況にもなっている。血栓陽性者65名のうち34名(52.3%)が無症状であったが、無症状の患者に対するDVTスクリーニング検査としての静脈エコーは、下腿限局性のDVTに対して感度が低いことがありまだ議論が分かれている。

最後に、東日本大震災に当たっての、全国的、全世界的規模の支援に感謝の意を表明したい。

文 献

1. Medical responses following the sendai quake (East Japan earthquake, march 11, 2011). Yambe T, Shibata M, Sumiyoshi T, Mibiki Y, Osawa N, Katahira Y, Yambe M, Tabayashi K, Yamashina M, Sato E, Sato S, Yagi T, Watanabe M, Akinno Y, Munakata M, Owada N, Akiyama M, Saiki Y, Sugita N, Yoshizawa M. *Artif Organs*. 2012 Aug;36(8):760-3. doi: 10.1111/j.1525-1594.2012.
2. Survey of blood pump diaphragm damage in the NIPRO-ventricular assist device. Kashiwa K, Nishimura T, Nakahata A, Momose N, Umeda C, Kubo H, Tamai H, Kinugawa K, Adachi H, Yamaguchi A, Yambe T, Katohgi T, Kyo S, Ono M. *J Artif Organs*. 2012 Aug 25.
3. A New Transcutaneous Bidirectional Communication for Monitoring Implanted Artificial Heart Using the Human Body as a Conductive Medium. Okamoto E, Kato Y, Seino K, Miura H, Shiraishi Y, Yambe T, Mitamura Y. *Artif Organs*. 2012 Jul 19. doi: 10.1111/j.1525-1594.2012.
4. Development and clinical application of a precise temperature-control device as an alternate for conventional moxibustion therapy. Takayama S, Takashima S, Okajima J, Watanabe M, Kamiya T, Seki T, Yamasaki M, Yaegashi N, Yambe T, Maruyama S. *Evid Based Complement Alternat Med*. 2012;2012:426829. Epub 2012 Jun 15.
5. Cardio-ankle vascular index in heterozygous familial hypercholesterolemia. Soska V, Dobsak P, Dusek L, Shirai K, Jarkovsky J, Novakova M, Brhel P, Stastna J, Fajkusova L, Freiberger T, Yambe T. *J Atheroscler Thromb*. 2012;19(5):453-61. Epub 2012 Jan 12.
6. Associations between day-by-day variability in blood pressure measured at home and antihypertensive drugs: the J-HOME-Morning study. Ishikura K, Obara T, Kato T, Kikuya M, Shibamiya T, Shinki T, Ikeda U, Kobayashi Y, Metoki H, Mano N, Kuriyama S, Ohkubo T, Imai Y; J-HOME-Morning Study Group. *Clin Exp Hypertens*. 2012;34(4):297-304.
7. Reentrant Ventricular Outflow Tract Tachycardia Arising from Focal Scar Detected by Delayed Enhancement Magnetic Resonance Imaging. Yamashina Y, Yagi T, Namekawa A, Ishida A, Sato H, Nakagawa T, Sakuramoto M, Sato E, Yambe T. *Pacing Clin Electrophysiol*. 2012
8. Left heart bypass support with the Rotaflow Centrifugal Pump® as a bridge to decision and recovery in an adult. Kashiwa K, Nishimura T, Saito A, Kubo H, Fukaya A, Tamai H, Yambe T, Kyo S, Ono M. *J Artif Organs*. 2012 Jun;15(2):207-10
9. Engineering analysis of the effects of bulging sinus in a newly designed paediatric pulmonary heart valve on hemodynamic function(和訳中)(解説) 鈴木一郎(東北大学/大学院医工学研究科医工学専攻), 矢部翔太, 末永健, Sugai Telma Keiko, 坪子侑佑, 西條芳文, 吉澤誠, 亀山剛義, 白石泰之, 山家智之, 馮忠剛, 岡本吉弘, 田中隆, 梅津光生, 宮崎隆子, 山岸正明 *人工臓器* (0300-0818)41 巻1号 Page59-61(2012.06)
10. 低圧系拍動流循環でのエネルギー損失低減のための Bulging sinus の意義(解説) : 松尾諭志(東北大学 大学院医学系研究科心臓血管外科学分野), 白石泰之, 秋山正年, 山家智之, 齋木佳克 *人工臓器* (0300-0818)41 巻1号 Page55-56(2012.06)
11. 心電図・脈波信号を用いた自律神経機能評価装置(原著論文) 吉澤誠(東北大学サイバーサイエン

- スセンター 先端情報技術研究部), 杉田典大, 阿部誠, 本間経康, 金野敏, 山家智之, 仁田新一 ナノ医工学年報 (1882-4692)5 卷 1 号 Page45-53(2012.03)
12. 心臓再同期療法の効果を心エコー図法で引き出す CRT 術後、左室流出路 VTI 値を用いた心室間伝導遅延時間 (VV delay) 設定の有用性 (会議録) 田淵晴名 (東北厚生年金病院 循環器センター), 山中多聞, 片平美明, 三浦誠, 田中元直, 中島博行, 菅原重生, 西條芳文, 山家智之 超音波医学(1346-1176)39 卷 Suppl. PageS216(2012.04)
13. 東日本大震災における人工臓器医工学 (解説) 山家智之 (東北大学加齢医学研究所 心臓病電子医学分野), 吉澤誠, 柴田宗一, 片平美明, 秋野能久, 宗像正徳, 八木哲夫, 大和田直樹 ナノ医工学年報 (1882-4692)5 卷 1 号 Page221-230(2012.03)