

医療用急速冷凍技術の伝熱特性

(静大院総科) ○ (学) 山下僚大・
(正) 木村元彦・(静大技術部) (正) 大橋和義

1. はじめに

日本では、輸血用血液は低温で貯蔵されており、その保存期限は 21 日間と決められている。しかし、大規模災害などで大量の血液が必要となった時、血液不足になる可能性がある。このため、血液を凍結させることで半永久的に保存できるようになることから、血液の凍結保存技術が必要とされている。海外で実際に行われている凍結技術として低温空気を血液バッグに噴射するエアブラスト式凍結法があるが、凍結速度が非常に遅く、細胞内に大きな氷晶が生成し、細胞が破壊され、溶血してしまい、品質が低下してしまう。これを解決するには急速凍結が有効である。急速凍結には液体窒素が用いられることがあるが、医療現場では危険性や取り扱いの難しさにより液体窒素以外での凍結法が求められている。そのため本研究では低温エタノールを用いたスプレー式凍結法、振動式凍結法を開発し、血液バッグ中の液体を凍結させ、それぞれの伝熱特性を評価した。

2. 方法

被凍結物として医療現場で実際に用いられている血液バッグを用いた。バッグには血液の代わりに血液と同程度の粘度 (5 cP) になるよう調製したアルギン酸ナトリウム水溶液 300 mL を入れた。湯せんにて血液バッグを 30 °C まで温め、エアブラスト式、自然対流式、強制対流式、スプレー式、振動式の 4 種類の凍結法により、血液バッグ中心温度が -20 °C に到達するまでの温度変化を測定した。温度変化の測定では血液バッグ中心に熱電対を固定し、データロガーを用いて記録した。振動式の実験のみ、凍結後は振動の効果がないため、-10 °C までの温度変化を測定した。図 1 にスプレー式と振動式の実験装置図を示す。

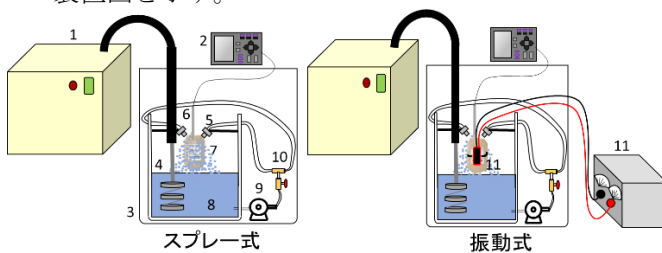
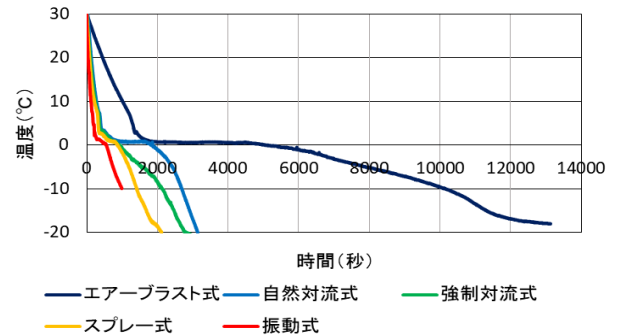


図 1 実験装置図

- 1.冷却装置 2.データロガー 3.冷凍庫 4.スチール缶
5.ノズル 6.熱電対 7.血液バッグ 8.エタノール
9.ポンプ 10.バルブ 11.振動モーター 12.電源装置

全ての実験は -20 °C の冷凍庫内で行った。スプレー式は -20 °C のエタノールをポンプで吸引し、穴径 2 mm のノズルからスプレー粒子径 1500 μm 、流量 24 mL/s のエタノールスプレーを血液バッグに噴射した。振動式は血液バッグ表面に振動モーターを固定し、電源装置から 20 V の電圧をかけ、振幅 0.8 mm、振動数 66 Hz で振動させた。そして、スプレー式と同様に血液バッグにエタノールスプレーを噴射した。エアブラスト式は冷凍庫内で血液バッグに送風機を用いて風速 5 m/s の低温空気を当てた。



自然対流式は 6 L、-20 °C のエタノールに血液バッグを浸し、静置させた。強制対流式は、ポンプを用いて 6 L、-20 °C のエタノールに流量 70 mL/s の強制対流を生じさせ、その中に血液バッグを浸し、静置させた。

3. 結果と考察

血液バッグを各凍結法を用いて凍結させたときの血液バッグ中心温度の経時変化を図 2 に示す。

図 2 各凍結法における冷却速度の比較

図 2 より、エアブラスト式、自然対流式、強制対流式、スプレー式、振動式の順で冷却速度が速いことが分かった。エアブラストは空気を冷媒として冷却するため、エタノールよりも伝熱係数がかなり小さい。自然対流式と強制対流式、スプレー式で冷却速度が異なるのは血液バッグ表面周囲の境膜の厚さの違いが要因だと考えられる。自然対流式、強制対流式、スプレー式の順に血液バッグ表面にエタノールが激しく衝突し、境膜が薄くなり、伝熱係数が大きくなったと考えられる。また、スプレー式は粒子径の小さなスプレーが噴射され、血液バッグに衝突した瞬間に気化しやすくなる。このため、血液バッグから気化熱を奪うことや、血液バッグ周囲の温度を下げることでさらに冷却速度を速めたと考えられる。振動式が最も早かったのは、冷却速度の早いスプレー式を用いて冷却したことに加え、血液バッグの振動によって血液バッグ内の液体に強制対流が生じ、血液バッグ内壁と液体の間の境膜が薄くなり、伝熱係数が大きくなったと考えられる。

4. 結論

血液バッグを急速凍結させるには、エタノールスプレー式と振動を組み合わせた振動式凍結法が最も効果的であることが分かった。本研究により、新たな医療用急速冷凍技術としてスプレー式凍結法と振動式凍結法の伝熱特性を評価し、その有効性が明らかになった。

Kimura.motohiko@shizuoka.ac.jp