

課題番号 10

## 哺乳類の能動的低代謝である冬眠と休眠を応用した 新しい臓器保存戦略

[1] 組織

代表者：正木 英樹  
(東京大学)

対応者：岡田 克典  
(東北大学加齢医学研究所)

分担者：  
渡辺 有為 (東北大学加齢医学研究所)

研究費：物件費 20 万円

[2] 研究経過

肺移植は末期呼吸不全に対する最終的な治療として確立されてきた。しかしながら、肺は腎臓、肝臓などに比べ臓器摘出後の冷虚血保存での限界時間が短く、このため適合するドナーが遠方に発生しても、長距離の搬送による虚血時間の延長により断念せざるを得ないことが少なくない。

臓器保存の究極の目標は、細胞の代謝を極力抑え、代謝停止に近い状態に持つことである。哺乳類の仲間であるリスやクマなどは「冬眠」という能動的な低代謝状態に入ることで基礎代謝を正常時の 1-25%にまで低下させ、エネルギー消費を節約することで冬期や飢餓を乗り越える。通常では個体が死に至るような低代謝状態になりながらも、冬眠から目覚めると再び通常の活動を始めることから、冬眠は可逆的な変化といえる。このような低代謝状態を移植臓器に導入できれば、現在では難しい移植臓器の長期保管も実現できる可能性がある。予備実験では、薬理的な能動低代謝の誘導により可逆的な代謝停止状態を誘導することが可能であり、さらに代謝停止した細胞は室温で数日間保存することが可能であることを示した。これらの成果を用いて、カリフォルニア州のスタンフォード大学にある研究室と東京大学医科学研究所の研究室との間の細胞の輸送を常温の通常便にて行なっている。

本研究の目的は、哺乳類の冬眠、休眠から着想を得た能動的低代謝への誘導法を確立することで、臓器保存方法に画期的な変革をもたらす、移植医療の成績を大きく向上させることである。

研究打ち合わせはコロナ禍を反映し、対面で行うことは難しく、ウェブにて行われることが多かったものの、毎月定期的開催され、有意義な議論を行うことができた。

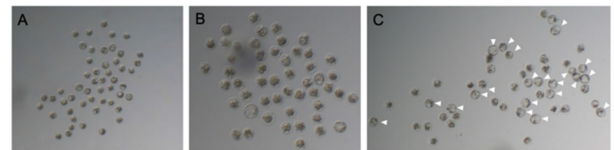


図. 能動的低代謝の導入によるマウス胚の室温保存の実例. A. マウス桑実胚. B. マウス桑実胚に能動的低代謝を導入し、室温で5日間放置したところ、78%の胚の生存が確認された（低代謝を導入しない場合の生存率は0%）. C. 低代謝解除後1日目に38%の胚が胚盤胞へと正常に発生していた（正常発生した胚盤胞を白三角印で示す）.

[3] 成果

(3-1) 研究成果

2021 年度は薬剤の毒性の有無を確認するために、まず細胞実験で得られた濃度に調整した冬眠誘導薬剤添加肺保存液、および薬剤を含まない肺保存液の 3 種類の保存液を用意し、野生型ラット (LEW) のドナー肺をそれらの保存液で灌流、冷却保存を行い、24 時間後に検体をホルマリンにて固定し、病理組織学的に検討したところ、いずれの群においても肺障害は認めなかった。次いで 24 時間室温で保存した検体を同様に検討したところ、いずれの群においても著明な肺障害を認めた。現在、冷却実験では 24 時間からの保存実験の延長、室温実験では 24 時間からの短縮を行い、各群間に差が出る時間を検討しており、2022 年度も継続予定である。

(3-2) 波及効果と発展性など

本研究の成果は移植医療における臓器保存の概念に画期的な変革をもたらすものである。これまで臓器を冷却することによって代謝を抑えていたが、能動的低代謝への誘導法を確立することで不要な冷却と復温を回避し、虚血・再灌流障害を軽減できる可能性がある。また、能動的低代謝への誘導の知見は、現在東北大学で臨床応用を目指して研究を行なっている移植肺灌流装置 (Ex Vivo Lung Perfusion: EVLP) へも応用も期待できる。EVLP は虚血時間の延長 (Takahashi M, Watanabe Y, et al. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2020) や臓器の評価 (Watanabe Y, et al. *Am J*

*Transplant.* 2019) のみならず, 移植前の臓器治療の安定したプラットフォームとして応用可能となり, 移植肺への幹細胞治療, 遺伝子治療, 医療用ガス治療などへの発展が期待できる。

[4] 成果資料 (全て査読あり)

- (1) Kinoshita M, Kobayashi T, Planells B, Klisch D, Spindlow D, **Masaki H**, Bornelöv S, Stirparo GG, Matsunari H, Uchikura A, Lamas-Toranzo I, Nichols J, Nakauchi H, Nagashima H, Alberio R, Smith A. Pluripotent stem cells related to embryonic disc exhibit common self-renewal requirements in diverse livestock species. *Development*. 2021;148:dev199901.
- (2) Yamazaki K, Kubara K, Ishii S, Li P, Dairiki R, Hihara T, Ishizuka Y, Izumi Y, Kumai M, Kamisako T, Ishizaki H, Sato H, **Masaki H**, Mizuno N, Mitsuhashi K, Ito M, Hamanaka S, Yamaguchi T, Watanabe M, Sugiyama F, Nakauchi H. In vitro and in vivo functions of T cells produced in complemented thymi of chimeric mice generated by blastocyst complementation. *Sci Rep*. 2022;12:3242.