

厚生労働科学研究費補助金
(難治性疾患等克服研究事業)
(難治性疾患等実用化研究事業(移植医療技術開発研究分野))
総括研究報告書

第三世代・第四世代膵島分離法を用いた臨床膵島移植の実施

研究代表者 野口 洋文 琉球大学大学院医学研究科 再生医学講座 教授

研究要旨

膵島移植は、インスリン依存状態糖尿病(主に1型糖尿病)に対する治療法であり、局所麻酔下にて膵島を経門脈的に注入するため、膵臓移植に比べ低侵襲で安全性が高いことが特徴である。研究代表者はハーバード大学、京都大学、ベイラー研究所で合計100例以上のヒト膵島分離を実施しており、第三世代膵島分離法を確立した。第三世代膵島分離法とは、1)膵管保護、2)二層法保存、3)新規臓器保存液、4)比重コントロールによる膵島純化、5)膵島追加純化、6)分離膵島低温保存、の6つの技術改変を行っており、分離成功率(膵島分離を実施して移植に至る確率)は80%以上、インスリン離脱率が単回移植で100%となった。本研究では平成25年度、26年度に第三世代膵島分離技術を用いた臨床膵島移植を日本で実施するとともに、現在開発中の第四世代分離法を最終年度の平成27年度に臨床実施することを目的としている。第四世代分離法とは、1)膵管保護溶液にJNK抑制ペプチドを添加、2)新規臓器保存液(HN-1溶液)の使用、3)連続比重・密度勾配による純化、の3つの技術改変を加えたものである。本申請は3年の研究計画であるが、ヒト膵島分離を共同研究者の国立国際医療研究センターとともに、年間1-3例行う予定にしている。

平成26年度は研究代表者が膵島分離にかかわっている京都大学で2回の膵島分離を行い、1回の膵島移植を実施した。当初の計画通りではあるが、症例数が少ないのが問題点として挙げられる。国立国際医療研究センターでは臨床膵島移植の準備を順調に進めており、来年度の移植を目指している。

研究分担者

氏名	所属機関名
霜田 雅之	国立国際医療研究センター ー研究所

(主に1型糖尿病)に対する治療法であり、局所麻酔下にて膵島を経門脈的に注入するため、膵臓移植に比べ低侵襲で安全性が高いことが特徴である。研究代表者はハーバード大学で膵島分離技術を習得したのち、京都大学所属時に膵島移植グループの主要

A. 研究目的

膵島移植は、インスリン依存状態糖尿病

メンバーの一人として、日本初となる心停止ドナーからの膵島移植および生体ドナーからの膵島分離を実施した。その後、アメリカのベイラー研究所でAssociate Investigator、Directorとして100例以上のヒト膵島分離を実施しており、豊富な臨床経験を持つ。

膵島分離技術は非常に複雑で施設間格差が大きいことがわかっている。研究代表者は現在までに1)膵管保護、2)二層法保存、3)新規臓器保存液、4)比重コントロールによる膵島純化、5)膵島追加純化、6)分離膵島低温保存、の6つの膵島分離技術の改変を行っている。この6つの技術を臨床応用した第三世代分離法では、分離成功率(膵島分離を実施して移植に至る確率)は80%以上でありインスリン離脱率が単回移植で100%となった。欧米の標準施設では分離成功率は30-50%であり、インスリン離脱率は単回移植で10%(複数回移植で80%)であることを考慮すると、申請代表者の技術が世界最高水準であるといえる。本研究ではこの技術を用いた臨床膵島移植を日本で実施するとともに、現在開発中の第四世代分離法を最終年度に臨床実施することを目的としている。第四世代分離法とは、1)膵管保護溶液にJNK抑制ペプチドを添加、2)新規臓器保存液(HN-1溶液)の使用、3)連続比重・密度勾配による純化、の3つの技術改変を加えたものである。昨年度、ブタ膵島分離にてその有効性を確認し、本年度に安全性の確認を行った。本申請は3年の研究計画であるが、ヒト膵島分離を共同研究者の国立国際医療研究センターとともに、年間1-3例行う予定にしている。

B. 研究方法

本研究では、第三世代膵島分離法を用いて臨床膵島移植を行うとともに、現在、研究開発を行っている「第四世代膵島分離法」を完成させ、平成27年度にこの技術を用いた臨床膵島移植を実施することを目的としている。

<平成26年度計画：第三世代膵島分離法を用いた臨床膵島移植の実施>

平成25年度同様、第三世代膵島分離法を用いた臨床膵島移植の実施を行う。第三世代膵島分離法は申請代表者が京都大学所属時およびベイラー研究所所属時に中心となって研究開発した技術である。具体的には、

- 1)膵管保護
- 2)二層法保存
- 3)新規臓器保存液
- 4)比重コントロールによる膵島純化
- 5)膵島追加純化
- 6)分離膵島低温保存

の6つの膵島分離技術の改変を行っている。この技術はすでにベイラー研究所で臨床実施されており、分離成功率は80%を超え、インスリン離脱率が単回移植で100%であった。欧米の標準施設では分離成功率は30-50%であり、インスリン離脱率は単回移植で10%(複数回移植で80%)であることを考慮すると、申請代表者の技術が世界最高水準であるといえる。また、臨床実施されていることからわかるように、この技術の安全性はすでに確認されている。

申請代表者は京都大学およびベイラー研究所で膵島移植のプロジェクトを立ち上げる際、クリーンルーム内での膵島分離を行う際の標準作業手順書(Standard Operating Procedure: SOP)作成を行った経験を持つ。研究代表

者がかかわっている4施設(京都大学、大阪大学、千葉東病院、信州大学)ではすでに手順書作成は終了しており、いつでも膵島分離ができる体制となっている。また、琉球大学では、クリーンルームと同じ形態の部屋を研究室に設置し、イヌおよびブタ膵を用いて膵島分離のトレーニングを行っている。

国立国際医療研究センターでは独自の膵島分離法で膵島移植を実施する計画となっており、本年はその準備を行っている状況である。平成26年度にヒト膵島分離を1-3例行う予定にしている。

(倫理面への配慮)

臨床膵島移植に関しては、日本膵・膵島移植研究会より膵島分離・移植施設として認定を受けた施設でのみ実施できるしくみとなっている。人権擁護上の配慮、不利益・危険性の排除においては、日本膵・膵島移植研究会の指針に従って膵島移植を実施することにより確保できる。インフォームドコンセントの様式も、日本膵・膵島移植研究会で用意されているものを使用する。

米国では膵島移植はFDAの規制の下に行われているが、日本では日本膵・膵島移植研究会の定めた基準に従って膵島移植を行うことになっている。研究代表者は米国でFDAの規制の下、100例以上のヒト膵島分離を行ってきた経験者であり、また日本でも京都大学所属時に23例のヒト膵島分離を実施している。日本膵・膵島移植研究会の指針でも、米国FDAと同じくGMP基準に則って膵島分離を行うことと提唱している。膵島移植におけるGMPは、世界における膵島分離方法の標準であり、その基本理念は患者の安全と移植の効果の確保で

ある。

平成26年11月に施行された「再生医療等安全性確保法」の範疇に膵島移植が入ることとなり、日本膵・膵島移植研究会が中心となり必要書類の作成を行っている。研究代表者がかかわっている4施設ではすでに施設登録の申請を行っている。

C. 研究結果

平成26年度は臨床膵島移植を1-3例実施する計画となっていたが、研究代表者がかかわっている4施設のうち、京都大学で2回の膵島分離と1回の膵島移植を実施した。移植後の膵島生着率は良好であり、早期に追加移植が可能であればインスリン離脱が達成できるレベルであった。当初の計画通りであるものの、症例数が少ないのが問題点として挙げられる。平成26年度に申請代表者らが入手できたドナー情報自体が2回にとどまっており、ドナー不足およびドナー情報の入手経路の整備不足がその原因であるといえる。

共同研究施設の国立国際医療研究センターでは臨床膵島分離・移植の体制が整い、平成26年3月に日本膵・膵島移植研究会から膵島分離・移植施設として認定された。平成27年度から臨床膵島移植を実施する予定である。

D. 考察

日本で臨床膵島移植を行っていくうえでの最大の問題点はドナー情報の入手過程であり、ドナーコーディネートを一元化しなければ日本の膵島移植の成功は困難である。膵島移植は複数回の移植でインスリン離脱を目指す治療であり、初回移植から2回目、3回目の移植までの期間があくと、インスリン離脱を達成することが困難となることが報告されてい

る。現在の日本のドナー数を考慮すると、ドナー情報のとりこぼしにより2回目、3回目の膵島移植の時期が遅くなると、インスリン離脱症例を出すことが困難となることが予想される。ドナーコーディネートの問題は、厚生労働省、日本臓器移植ネットワーク、日本組織移植ネットワーク、および日本膵・膵島移植研究会が関与する事案であり、関係団体が協力して早期に解決していただけることを期待している。また、日本の移植医療の根本的な問題として脳死ドナーの絶対的不足がある。欧米のドナーの割合を日本の人口に当てはまると、日本でも2500例前後の脳死ドナーが発生しているはずであるが、実際には年間45例前後の提供にとどまっているのが現状である。国民への普及啓発活動を根気よく続けていくとともに、脳死での臓器提供が行われやすい環境を作ることが大事であると思われる。

E. 結論

平成26年度は膵島分離を2回、移植を1回行った。当初の計画通りであるものの、症例数が少ないのが問題点として挙げられる。平成26年度に申請代表者らが入手できたドナー情報自体が2回にとどまっており、ドナー不足およびドナー情報の入手経路の整備不足がその原因であるといえる。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表

1: Miyamoto Y, Ikeuchi M, **Noguchi H**, Yagi T, Hayashi S. Three-Dimensional *in*

vitro Hepatic Constructs Formed Using Combinatorial Tapered Stencil for Cluster Culture (TASCL) Device. *Cell Med.* 2015, 7(2):67-74.

2: Tsugata T, Nikoh N, Kin T, Saitoh I, Noguchi Y, Ueki H, Watanabe M, Shapiro AMJ, **Noguchi H**. Potential factors for the differentiation of ES/iPS cells into insulin-producing cells. *Cell Med.* 2015, 7(2):83-93.

3: **Noguchi H**, Saitoh I, Tsugata T, Kataoka H, Watanabe M, Noguchi Y. Induction of tissue-specific stem cells by reprogramming factors, and tissue-specific selection. *Cell Death Differ.* 2015 Jan;22(1):145-55.

4: Yukawa H, Nakagawa S, Yoshizumi Y, Watanabe M, Saito H, Miyamoto Y, **Noguchi H**, Oishi K, Ono K, Sawada M, Kato I, Onoshima D, Obayashi M, Hayashi Y, Kaji N, Ishikawa T, Hayashi S, Baba Y. Novel positively charged nanoparticle labeling for *in vivo* imaging of adipose tissue-derived stem cells. *PLoS One.* 2014 Nov 3;9(11):e110142.

5: Kuise T, **Noguchi H**, Tazawa H, Kawai T, Iwamuro M, Saitoh I, Kataoka HU, Watanabe M, Noguchi Y, Fujiwara T. Establishment of a pancreatic stem cell line from fibroblast-derived induced pluripotent stem cells. *Biomed Eng Online.* 2014 May 27;13:64. doi: 10.1186/1475-925X-13-64.

6: Shimoda M, Chen S, **Noguchi H**, Takita M, Sugimoto K, Itoh T, Chujo D, Iwahashi S, Naziruddin B, Levy MF,

Matsumoto S, Grayburn PA. A new method for generating insulin-secreting cells from human pancreatic epithelial cells after islet isolation transformed by NeuroD1. Hum Gene Ther Methods. 2014 Jun;25(3):206-19.

7: **Noguchi H.** Islet Purification for Clinical Islet Transplantation. Current Tissue Engineering. 2014; 3: 34-38.

2. 学会発表

1: 丸山 通広, 野口 洋文, 大月 和宣, 坏 尚武, 青山 博道, 松本 育子, 長谷川 正行, 西郷 健一, 浅野 武秀: 当院における膵島移植の現状. 第 76 回日本臨床外科学会総会. 2014/11/20-22 福島

2: 野口 洋文, 丸山 通広, 大月 和宣, 西郷 健一, 長谷川 正行, 青山 博道, 松本 育子, 浅野 武秀, 坏 尚武: SUIT/EIR index を用いた膵島移植患者の膵島生着率の検討. 第 50 回日本移植学会総会. 2014/9/10-12 東京

3: 西郷 健一, 北村 博司, 坏 尚武, 丸山 通広, 大月 和宣, 長谷川 正行, 青山 博道, 松本 育子, 野口 洋文, 浅野 武秀: 当院における腎移植後発癌症例の解析. 第 50 回日本移植学会総会. 2014/9/10-12 東京

4: 川口 武彦, 松本 育子, 野口 洋文, 青山 博道, 大月 和宣, 丸山 通広, 長谷川 正行, 西郷 健一, 浅野 武秀, 伊藤 泰平, 剣持 敬, 坏 尚武: 高齢腎移植患者の移植腎予後についての検討. 第 50 回日本移植学会総会. 2014/9/10-12 東京

5: 松本 育子(国立病院機構千葉東病院 外科), 坏 尚武, 西郷 健一, 長谷川 正行, 丸山 通広, 大月 和宣, 青山 博道, 野口

洋文, 剣持 敬, 浅野 武秀: 腎移植後妊娠 4 症例の検討. 第 50 回日本移植学会総会. 2014/9/10-12 東京

6: 坏 尚武, 丸山 通広, 大月 和宣, 松本 育子, 西郷 健一, 長谷川 正行, 青山 博道, 野口 洋文, 浅野 武秀: 当院における安全な腎採取術のための取り組み. 第 50 回日本移植学会総会. 2014/9/10-12 東京

7: 長谷川 正行, 坏 尚武, 伊藤 泰平, 丸山 通広, 西郷 健一, 大月 和宣, 青山 博道, 松本 育子, 野口 洋文, 北村 博司, 剣持 敬: 当科における腎移植レシピエントの BK ウイルス腎症に関する臨床的検討. 第 50 回日本移植学会総会. 2014/9/10-12 東京

8: 青山 博道, 西郷 健一, 長谷川 正行, 坏 尚武, 丸山 通広, 大月 和宣, 松本 育子, 野口 洋文, 川口 武彦, 北村 博司, 浅野 武秀: 高齢者の腎移植の限界と挑戦 当院における高齢者腎移植の検討. 第 50 回日本移植学会総会. 2014/9/10-12 東京

9: 丸山 通広, 大月 和宣, 坏 尚武, 青山 博道, 松本 育子, 野口 洋文, 長谷川 正行, 西郷 健一, 浅野 武秀, 穴澤 貴行, 後藤 満一: 脳死ドナー膵に対する膵臓移植・膵島移植の最適な選択 脳死下臓器提供における膵臓移植未施行例の検討. 第 50 回日本移植学会総会. 2014/9/10-12 東京

10: 宮本 義孝, 池内 真志, 野口 洋文, 鈴木 聡, 八木 透, 生田 幸士, 林 衆治: 培養デバイス'TASCL'による三次元肝細胞組織体の機能評価. 第 41 回日本臓器保存生物医学会学術集会. 2014/11/28-29 大阪

11: 坏 尚武(国立病院機構千葉東病院 外科), 丸山 通広, 松本 育子, 西郷 健一, 長谷川 正行, 大月 和宣, 青山 博道, 石

田 健倫, 齋藤 友永, 野口 洋文, 浅野 武秀: 細胞移植 膵島移植に向けた採取膵持続冷却灌流保存の検討 . 第 41 回日本臓器保存生物医学会学術集会 . 2014/11/28-29 大阪

12: 丸山 通広, 坏 尚武, 野口 洋文, 大月 和宣, 長谷川 正行, 青山 博道, 松本 育子, 西郷 健一, 伊藤 泰平, 剣持 敬, 浅野 武秀: 当院における膵島移植の現況 . 第 26 回日本肝胆膵外科学学術集会 . 2014/6/11-13 和歌山

13: 野口 洋文, 齊藤 一誠, 片岡 仁美, 渡部 昌実, 野口 寧文, 西郷 健一, 長谷川 正行, 丸山 通広, 大月 和宣, 青山 博道, 松本 育子, 浅野 武秀, 坏 尚武: リブプログラミングファクターの導入による人工膵幹細胞の作成 . 第 57 回日本糖尿病学会年次学術集会 . 2014/5/22-24 大阪

14: 丸山 通広, 坏 尚武, 大月 和宣, 野口 洋文, 長谷川 正行, 青山 博道, 松本 育子, 浅野 武秀, 関 直人, 西村 元伸: 当院における膵島移植の現状 . 第 57 回日本糖尿病学会年次学術集会 . 2014/5/22-24 大阪

15: 桂 央士, 坂本 扶美枝, 安田 哲行, 平井 孝一, 村田 雅彦, 小澤 純二, 北村 哲宏, 大月 道夫, 今川 彰久, 船橋 徹, 松岡 孝昭, 永野 浩昭, 野口 洋文, 伊藤 壽記, 金藤 秀明, 下村 伊一郎: 遺伝性膵炎に対し膵全摘術および膵島自家移植を施行した 1 例 . 第 57 回日本糖尿病学会年次学術集会 . 2014/5/22-24 大阪

16: 丸山 通広, 坏 尚武, 大月 和宣, 青山 博道, 松本 育子, 長谷川 正行, 野口 洋文, 西郷 健一, 浅野 武秀, 伊藤 泰平, 剣持 敬: 脳死膵臓移植における高齢、肥満

ドナーの検討 . 第 114 回日本外科学会定期学術集会 . 2014/4/3-5 京都

H. 知的財産権の出願・登録状況
(予定を含む。)

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし