

厚生労働科学研究費補助金
(難治性疾患等克服研究事業)
(免疫アレルギー疾患等予防・治療研究事業 移植医療研究分野)
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 独立行政法人国立病院機構千葉東病院 外科

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25年度は研究代表者が所属している千葉東病院で2例の膵島移植を実施することができ、また、京都大学、大阪大学での臨床膵島分離作業にも携わり、千葉東病院の症例も併せて5回の臨床膵島分離を行い、移植を4回実施した。当初の計画より多い症例数を実施することが可能であった。

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研究所 |
| 藤原 俊義 | 岡山大学大学院医歯薬学総合研究科 |

A. 研究目的

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教授として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。本年度、ブタ膵島分離にてその有効性を確認しており、来年度に安全性の確認を行ったのち、平成26年度に倫理委員会に申請予定である。承認が得られれば、平成27年度に臨床実施を行う予定である。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。

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。

「第四世代膵島分離法」の技術開発は日本学術振興会科学研究費(基盤B 平成24年-26年)のもと、ブタ膵を用いて現在行われており、この開発研究自体には本研究費は使用しない。本研究費は臨床膵島移植を実施するために使用される。

<平成25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>

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。千葉東病院でも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、千葉東病院では、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25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。

C. 研究結果

平成25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、研究代表者が所属している千葉東病院で2例の膵島移植を実施することができた。2例とも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。また研究代表者は京都大学、大阪大学での臨床膵島分離作業にも携わっており、京都で膵島分離を2例実施し、うち1例を移植することができた。大阪大学では遺伝性膵炎の患者の膵臓を摘出し膵島分離後に患者に戻す「膵島自家移植」を実施することが可能であった。以上のとおり研究代表者は5回の臨床膵島分離を行い、移植を4回実施しており、当初の計画より多い症例数を実施することが可能であった。

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26年度から臨床膵島移植を実施する予定である。

共同研究施設の岡山大学であるが、研究代表者が6月まで所属していた大学であり、7月以降は臨床膵島移植に関する活動を行っていないため、分担金額は0円となっている。平成

26年度は共同研究者から外れる予定となっている。

以上のとおり、平成 25 年度は当初の計画よりも多くの移植を実施することが可能であり、良好な研究成果であると考えられた。

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 25 年度は研究代表者が所属している千

葉東病院で 2 例の膵島移植を実施することができ、また、京都大学、大阪大学での臨床膵島分離作業にも携わり、千葉東病院の症例も併せて 5 回の臨床膵島分離を行い、移植を 4 回実施した。当初の計画より多い症例数を実施することが可能であった。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表

- 1: Seita M, **Noguchi H**, Kubota Y, Kawamoto H, Nakaji S, Kobayashi N, Fujiwara Y. Development of Canine Models of Type 1 Diabetes with Partial Pancreatectomy and the Administration of STZ. *Cell Med.* 2013, 6(1-2):25-31
- 2: Kubota Y, **Noguchi H**, Seita M, Yuasa T, Sasamoto H, Nakaji S, Okitsu T, Fujiwara Y, Kobayashi N. Maintenance of viability and function of rat islets with the use of ROCK inhibitor Y27632. *Cell Med.* 2013, 6(1-2):15-23.
- 3: Kawai T, **Noguchi H**, Kuise T, Nakatsuka A, Katayama A, Imagawa N, Kataoka HU, Saitoh I, Noguchi Y, Watanabe M, Fujiwara T. Comparison of incubation solutions prior to islet purification in porcine islet isolation. *Cell Med.* 2013, 6(1-2):9-14.
- 4: Katayama A, **Noguchi H**, Kuise T, Nakatsuka A, Hirota D, Kataoka HU, Kawai T, Inoue K, Imagawa N, Saitoh I, Noguchi Y, Watanabe M, Wada J, Fujiwara T. Comparison of new

preservation solution, HN-1, and University of Wisconsin solution in pancreas preservation for porcine islet isolation. *Cell Med.* 2013, 6(1-2):3-8.

5: Kaitsuka T, **Noguchi H**, Shiraki N, Kubo T, Wei FY, Hakim F, Kume S, Tomizawa K. Generation of Functional Insulin-Producing Cells From Mouse Embryonic Stem Cells Through 804G Cell-Derived Extracellular Matrix and Protein Transduction of Transcription Factors. *Stem Cells Transl Med.* 2014 Jan;3(1):114-27.

6: Miyamoto Y, Koshidaka Y, **Noguchi H**, Oishi K, Saito H, Yukawa H, Kaji N, Ikeya T, Suzuki S, Iwata H, Baba Y, Murase K, Hayashi S. Observation of positively-charged magnetic nanoparticles inside HepG2 spheroids using electron microscopy. *Cell Med.* 2013, 5(2-3):89-96.

7: Kataoka HU, **Noguchi H**. ER stress and β cell pathogenesis of type 1 and type 2 diabetes and islet transplantation. *Cell Med.* 2013, 5(2-3):53-57.

8: Kuise T, **Noguchi H**, Saitoh I, Kataoka HU, Watanabe M, Fujiwara T. Isolation efficiency of mouse pancreatic stem cells is age-dependent. *Cell Med.* 2013, 5(2-3):69-73.

9: **Noguchi H**, Saitoh I, Kataoka HU, Watanabe M, Fujiwara T. Culture conditions for mouse pancreatic stem cells. *Cell Med.* 2013, 5(2-3):63-68.

10: **Noguchi H**, Kobayashi N. Controlled expansion of mammalian cell populations

by reversible immortalization. *J Biotechnol Biomater* 3: 158.

11: Oishi K, Miyamoto Y, Saito H, Murase K, Ono K, Sawada M, Watanabe M, Noguchi Y, Fujiwara T, Hayashi S, **Noguchi H**. In vivo imaging of transplanted islets labeled with a novel cationic nanoparticle. *PLoS One.* 2013;8(2):e57046.

2. 学会発表

1: 坏尚武、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、野口洋文、浅野武秀、関直人：再開後初めての心停止ドナー下膵島移植の1例．第41回日本膵・膵島移植研究会．2014/3/7-8 名古屋

2: 野口洋文：臨床膵島分離技術についてワークショップ15「膵島移植の成績向上を目指して」．第49回日本移植学会総会．2013/9/5-7 京都

3: 橋詰 亮、米川敦子、宮崎麻里子、大月和宣、坏尚武、丸山通広、西郷健一、長谷川正行、青山博道、松本育子、浅野武秀、野口洋文、伊藤泰平、剣持 敬：SF-36v2™を用いた膵臓移植・膵腎同時移植後レシピエントの長期QOL調査．第41回日本膵・膵島移植研究会．2014/3/7-8 名古屋

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