

分担研究課題名：ライソゾーム病スクリーニング体制の構築
ガイドラインの作成・更新、拠点病院体制の確立に関する研究
ライソゾーム病、ペルオキシゾーム病の早期診断スクリーニング体制の構築

研究分担者：中村 公俊（熊本大学大学院生命科学研究部小児科学講座・教授）

研究要旨

ライソゾーム病の診断には血液中や白血球の酵素活性の測定や遺伝子解析が用いられている。新生児においては、濾紙血を用いた新生児スクリーニングによる早期診断が試みられている。また、特徴的な症状からライソゾーム病を疑って確定診断を進めることが重要である。これまでに作成された診療ガイドラインをもとに、早期診断スクリーニング法を実装し、新生児スクリーニング、ハイリスクスクリーニングを行い、さらに確定診断システムの構築を進めて早期診断の環境整備を行った。特にポンペ病では 297,071 人の新生児を対象としたスクリーニングによって乳児型 1 名と遅発型の可能性のある 7 名の新規診断を可能とし、患者頻度は乳児型で約 30 万人に 1 人、遅発型も含めると最大 37,000 人に 1 人であることを明らかにした。

研究協力者

澤田 貴彰（熊本大学病院遺伝診療センター・特任講師）

服部 裕介（熊本大学病院小児科・診療助手）

A. 研究目的

ライソゾーム病、ペルオキシゾーム病の早期診断スクリーニング体制を構築するために、① LSD/PDの早期診断スクリーニング法のエビデンス輩出と啓発、② LSD/PDの早期診断スクリーニング確定診断のための診断システムの構築を行う。具体的には、スクリーニング法と実施例の検討により早期診断に繋がるエビデンスを輩出し啓発に用いる。また、酵素活性の測定、代謝産物の解析にNGS等を効率的に連結した診断システムを開発することを目的とする。

B. 研究方法

スクリーニング法と実施例の検討により早期診断に繋がるエビデンスとして、九州地区においてファブリー病、ポンペ病、ゴーシェ病、ムコ多糖症I型、ムコ多糖症II型の新生児スクリーニングを実施した。また、酵素活性の測定、代謝産物の解析にNGS等を効率的に連結した診断システムの開発を行っており、それに伴って必須となる遺伝カウンセリングについても検討した。

（倫理面への配慮）

対象疾患とその関連疾患の遺伝学的調査研究は、熊本大学倫理委員会の承認を受けて実施している。

C. 研究結果

I. LSD/PDの早期診断スクリーニング法のエビデンス輩出と啓発

ろ紙血検体の酵素活性測定による新生児スクリーニングの試みは、北米、ヨーロッパ、台湾、日本などで行われており、たとえばファブリー病における頻度は、男児約4,000～9,000人に1人と推定されている。また、古典型の頻度はおよそ30,000～40,000人に1人とされている。これらの拡大スクリーニングを開始する地域が増えつつある。これまでのわが国での新生児スクリーニングでは、われわれが599,711人の新生児検体を検査し、8名の古典型、31名の遅発型の男児を発見し、古典型患者では幼児期からの治療が開始されている。わが国における疾患頻度は、男児6,200人に1人と考えられる。また、古典型と遅発型の頻度は、ほぼ1:4であった。すでに発症しているファブリー病患者を発見するためのハイリスクスクリーニングは、腎障害、心肥大、脳梗塞などの症状を呈する患者を対象に試みられている。ハイリスク患者におけるファブリー病の頻度は、0.2～5%と、報告によってさまざまである。これまでのわれわれのファブリー病ハイリスクスクリーニングでは、腎障害患者の0.2%、心障害患者の0.5%にファブリー病が発見され、痛みを主訴とする患

者では約6%にファブリー病が発見されている。ポンペ病では297,071人の新生児を対象としたスクリーニングによって乳児型1名と遅発型の可能性がある7名の新規診断を可能とし、患者頻度は乳児型で約30万人に1人、遅発型も含めると最大37,000人に1人であることを明らかにした。

九州地区ではさらに、ポンペ病、ゴーシェ病、ムコ多糖症I型、II型を対象とする新生児スクリーニングに取り組んでいる。その中で、遺伝子解析のスクリーニングへの応用、現行治療法の早期・長期の治療による予後、ゴーシェ病・ムコ多糖症における神経症状への治療の有効性などが課題として考えられた。さらにライソゾーム病酸性リパーゼ欠損症・ニーマンピック病C型、セロイドリポフスチン症2型など、治療法はあるものの有効な早期診断法が確立していない疾患についての課題も明らかになってきた。

II. LSD/PDの早期診断スクリーニング確定診断のための診断システムの構築

わが国をはじめ、台湾、米国などにおいてファブリー病、ポンペ病などに対する新生児スクリーニングが行われている。そこでの課題として、1) スクリーニングされる対象に遅発例が含まれること、2) 新生児期にはその後重篤な症状を発症するか不明であること、3) 小児期に治療を開始し発症を予防できるというエビデンスがまだ十分でないこと、4) 新生児期に診断し治療介入を行った際の利益を示した前向き研究がないことなどが上げられている。酵素活性の測定結果から臨床病型を予測できない場合があるので、遅発型も発見されることに留意する必要がある。これらの課題を解決する方法として、早期診断スクリーニング確定診断のための診断システムの構築を進めている。遺伝子変異により臨床病型をある程度予測することはできるが、同一の遺伝子変異を持つ同一家系内でも臨床的重症度に差がある場合がある。また、報告のない新規遺伝子変異が同定された場合には、その変異の病原性を判断できないことがあり、他の遺伝子疾患と同様に遺伝子解析の課題となっている。

D. 考察

診断の根拠となる酵素活性の測定や遺伝子解析によって、早期診断、治療に至る症例が増えてきている。ポンペ病では297,071人の新生児を対象としたスクリーニングによって乳児型1名と遅発型の可能性がある7名の新規診断を可能とし、患者頻度は乳児型で約30万人に1人、遅発型も含めると最大37,000人に1人であることを明らかにした。適切なLSD/PDの早期診断スクリーニング法のエビデンスを蓄積し、早期診断スク

リーニング確定診断のための診断システムを構築することにより、現行の治療による予後をさらによいものにすることができると考えられた。また、酵素補充療法のほかに基質合成阻害薬やシャペロン療法などの開発が進んでおり、これまで以上に早期診断が重要になると考えられ、スクリーニングシステムの全国展開が急務であると思われる。

E. 結論

拡大新生児スクリーニングが実施される地域が増えつつある。本診断基準を利用して、早期診断を行なわれる環境が整うようにする必要がある。

G. 研究発表

1. 論文発表

- 1) Imasawa, T., Murayama, K., Sawada, T., ... Takayanagi, M., Nakamura, K. High-risk screening for Fabry disease in hemodialysis patients in Chiba Prefecture, Japan. *Clinical and Experimental Nephrology* 2023;27:288-294
- 2) Kenichi Tanaka, Shirou Matsumoto, Youhei Minamitani, Hidetaka Yoshimatsu, Tomomi Nakamura, Tetsuo Naramura, Masanori Iwai, Hiroshi Mitsubuchi, Kimitoshi Nakamura. Change over time in internal cerebral vein pulsation in premature infants at risk of intraventricular hemorrhage. *Early Hum Dev* 2023;179:105747. doi: 10.1016/j.earlhumdev.2023.105747.
- 3) Yusuke Hattori, Takaaki Sawada, Jun Kido, Keishin Sugawara, Shinichiro Yoshida, Shirou Matsumoto, Takahito Inoue, Shinichi Hirose, Kimitoshi Nakamura. Frequency of iduronate-2-sulfatase gene variants detected in newborn screening for mucopolysaccharidosis type II in Japan. *Molecular Genetics and Metabolism Reports* 2023;37:101003. doi: 10.1016/j.ymgmr.2023.101003
- 4) Jun Kido, Johannes Häberle, Toju Tanaka, Masayoshi Nagao, Yoichi Wada, Chikahiko Numakura, Ryosuke Bo, Hiromi Nyuzuki, Sumito Dateki, Shinsuke Maruyama, Kei Murayama, Shinichiro Yoshida, Kimitoshi Nakamura. Improved sensitivity and specificity for citrin deficiency using selected amino acids and acylcarnitines in the newborn screening.

J Inherit Metab Dis. 2023 Sep 8. doi:
10.1002/jimd.12673

- 5) Fumio Endo, Kimitoshi Nakamura, Yuuhei Sano, Nobuhito Dote, Kohei Shimizu, Emiko Koumura. Pharmacokinetics, safety, and tolerability of sodium phenylacetate and sodium benzoate in healthy Japanese volunteers: A phase I, singlecenter, open-label study. Drug Metabolism and Pharmacokinetics 2023;48:100474.

doi.org/10.1016/j.dmpk.2022.100474

- 6) Tokiko Fukuda, Tetsuya Ito, Takashi Hamazaki, Ayano Inui, Mika Ishige, Reiko Kagawa, Norio Sakai, Yoriko Watanabe, Hironori Kobayashi, Yosuke Wasaki, Junki Taura, Yuki Imamura, Tsutomu Tsukiuda, Kimitoshi Nakamura. Blood glucose trends in glycogen storage disease type Ia: A cross-sectional study. J Inherit Metab Dis. 2023;46:618-633. DOI:

10.1002/jimd.12610

- 7) Motoshi Sonoda, Masataka Ishimura, Hirosuke Inoue, Katsuhide Eguchi, Masayuki Ochiai, Yasunari Sakai, Takehiko Doi, Kyoko Suzuki, Takeshi Inoue, Tomoyuki Mizukami, Kimitoshi Nakamura, Hidetoshi Takada, Shouichi Ohga. Non-conditioned cord blood transplantation for infection control in athymic CHARGE syndrome. Pediatr Blood Cancer. 2024;71:e30809.5. doi: 10.1002/pbc.30809

2. 学会発表
なし

H. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む）

1. 特許取得：該当なし
2. 実用新案登録：該当なし
3. その他：該当なし