

厚生労働科学研究費補助金〔難治性疾患等克服研究事業(難治性疾患克服研究事業)〕

総括研究報告書

「RAS 関連自己免疫性リンパ増殖症候群様疾患(RALD)の実態調査および病態病因解析に関する研究」

研究代表者 高木 正稔

(東京医科歯科大学大学院医歯学総合研究科・発生発達病態学分野・講師)

研究要旨: RALD 症例の集積と診断法の確立、その病態解析を行った。本研究から RALD と若年性骨髄単球性白血病(JMML)は連続した疾患概念であり。両者の間に線を引くことは困難であることが明らかとなった。JMML は一般的に造血幹細胞移植が必要な予後不良な疾患である。しかし RALD のように自己免疫症状を有し、RAS 変異を持つ細胞が存在するにもかかわらず、長期間、造血幹細胞移植なしに生存している症例があることが明らかとなった。また本疾患にミコフェノール酸モフェチルやゾレドロン酸が有用であり可能性が示唆された。また病態解明、治療法開発のための基盤として疾患特異的 iPS 細胞の樹立に成功した。

水谷修紀 東京医科歯科大学 教授
森尾友宏 東京医科歯科大学 准教授
金兼弘和 富山大学 講師

A. 研究目的

RAS 関連自己免疫性リンパ増殖症候群様疾患(RALD)の臨床症状は自己免疫性リンパ増殖症候群(ALPS)と近似し、症状、一般検査所見からは両者を区別することは難しい。一方、若年性顆粒単球性白血病(JMML)は RAS-MAPK 経路の異常を基調とする疾患で RALD と同様に RAS 変異に基づいて発症する悪性腫瘍である。JMML の一部は自己免疫症状を伴い RALD に近い臨床症状を呈する症例も存在する。一般的に JMML

は予後不良の疾患で救命には造血幹細胞移植が必須とされている。しかし軽微な化学療法、分化誘導療法や経過観察のみで寛解した症例も報告があり、自己免疫症状を伴う JMML と RALD の差異は明らかでない。本研究では希少疾患である RALD や自己免疫症状を伴う JMML 症例を集積することにより、疾患概念の確立を行い、行われた治療法を解析することにより、RALD に行える標準療法があるか検討を行った。またその病態を明らかにするための基礎的な研究を行った。

B. 研究方法

全国から RALD 疑い例の紹介を受け診断のための遺伝子検査の標準化を試みた。

希少疾患であり、一例一例の臨床情報を集積することにより、共通項の洗い出しおこなった。

RALD の表現系と ALPS とは臨床症状から

は区別することができない。ALPS-FAS 以外の ALPS から RALD 類縁疾患がある可能性を考え遺伝子解析法を模索した。

RAS 変異がどの血液細胞系列に認められ、そして影響を与え、自己免疫疾患の発症に影響を与えるか、検討した。

RAS の変異の種類の違いが表現系に影響を与えるか検討した。

RAS による細胞増殖シグナルに細胞がどのように反応するか、分子細胞生物学的な解析を行った。

(倫理面への配慮)

遺伝子解析にあたっては、三省合同のゲノム指針に則り、患者又は両親から同意を得、当センターの倫理委員会の承認を得て行った

C. 研究結果

RALD 症例より再生医療の実現化プロジェクト「疾患特異的 iPS 細胞を活用した難病研究」難治性血液・免疫疾患由来の疾患特異的 iPS 細胞の樹立と新規治療法開発研究班と連携し患者由来疾患特異的 iPS 細胞を樹立した。この細胞を樹立した患者は NRAS 変異を体細胞モザイクで有しており。NRAS 変異のある iPS 細胞および、NRAS 変異のない isogenic な iPS 細胞を樹立に成功し、今後これら iPS 細胞を用いて、RAS 阻害剤など治療法開発のための創薬研究を展開できる基盤を作成した。(高木)

JMML は一般的に造血幹細胞移植が必要な予後不良な疾患である。しかし RAS 変異を有する JMML の一部は造血幹細胞移植なしに生存することが知られている。これら視点から造血幹細胞移植なしに生存し、寛解している JMML 症例を再検討した。興味深いことにこれら症例は依然として RAS の変異を持つ細胞が残存し、また自己免疫症状を呈しており、RALD に近い病態と考えられた。(水谷)

RALD に行われた治療は未介入、プレド

ニゾロン、シクロスポリ A、ミコフェノール酸モフェチル、造血幹細胞移植などであった。プレドニゾロンの自己免疫症状に対する有効性は臨床的に明らかであったが、高容量が必要であり、ミコフェノール酸モフェチルの有効性が示唆された。RALD 症例で RAS 阻害効果のあるゾレドロン酸の有効性を検討した。自己免疫症状の緩和と RAS 陽性コロニー数の低下がみられ、有効性が期待された。この臨床観察結果に基づき RALD に対するゾレドロン酸の有効性を検討するための臨床試験を計画し、IRB 承認を得た。(森尾)

今回典型的 ALPS でありながら、既存の遺伝子変異が同定されず、ALPS-U と考えられるがあり、全エクソン解析の手法が試みられた。この結果 NRAS 遺伝子の変異が認められ RALD であることが明らかとなった。(金兼)

D. 考察

造血幹細胞移植なしで生存している JMML 症例は寛解後も RAS 変異を抱えたままであり何らかの免疫異常を呈することが明らかとなった。症状的に ALPS/RALD に非常に近い症例も存在し、RALD と JMML の差が非常にあいまいであることが明らかとなった。従来から提唱されている JMML の診断基準からはこういった症例と RALD を区別することは困難であり、ひとたび JMML と診断されてしまえば造血幹細胞移植が選択されてしまうので、今後造血幹細胞移植なしに生存できる JMML を選別する方法の確立が急務と考えられた。また過去に JMML の罹患歴が明らかであればその後の続発する自己免疫症状は RALD 類似の病態とで説明できることが明らかとなった。しかし JMML の既往歴がなく、その存在が見落とされていた場合、後になって出現した自己免疫症状のみを見ると RALD 診断されてしまうと考えられ、RALD と JMML は連続した疾患概念であることが明らかとなった。

RALD は ALPS と同様にプレドニゾロンにより自己免疫症状の緩和が見られること

が明らかとなった。しかしプレドニゾン反応不良で、呼吸器症状の悪化から造血幹細胞移植が行われた症例もあった。また一方で治療介入なしに経過が安定している症例もあった。またRAS阻害効果が分子説学的に予想されるミコフェーノール酸モフェチルの有用性が示唆された。このように症例ごとに様々な治療方針がとられており、症状に見合った治療法の選択が必要なが明らかとなった。またRAS-MAPKを標的とした新規分子標的薬開発の必要性が求められる。そこで難治例に対しRAS阻害効果のあるゾレドロン酸の有効性を検討した。自己免疫症状の緩和とRAS陽性コロニー数の低下がみられ、有効性が期待された。

自己免疫症状を呈するRALDおよびJMMLいずれもがリンパ球系列にRAS変異を持つ細胞があり、リンパ球系統でのRAS変異細胞の存在がRALDの発症、自己免疫症状のあるJMMLに深く関与している可能性が示唆された。

RAS遺伝子変異による細胞への影響やJMMLやRALD類似疾患の遺伝子解析が行われ、その病態の解明が進められた。しかし現時点では自己免疫症状のあるJMMLとRALDを区別しうる遺伝学的背景については明らかにすることはできなかった。しかしながらリンパ球系にRAS遺伝子変異があると自己免疫症状を呈することが明らかとなった。次なる課題としてはリンパ球系にRAS遺伝子変異があるとなぜ自己免疫症状を呈するのか、その最適な治療法は何かを明らかにしていかななくてはならない。また自然寛解するJMMLと急速に症状の進行がみられる、RAS変異のあるJMMLがあるが、両者を区別する明確な指標が存在しない。林らの研究で見出されたRASの体細胞モザイクの症例は長期の経過で腫瘍化には至っていないが、滝田らの研究ではRASの体細胞モザイクを持つ症例から急性転化に至った症例が報告され、この問題は早急に解決しなくてはいけない最大の課題と考えられた。全エクソン解析など手法を取り入れることにより、今後、解決の糸口が見出されることを期待する。この中で「疾患特異的iPS細胞を活用した難病研究」難治性血液・免疫疾患由来の疾患特異的iPS細胞の樹立と新規治療法開発研究班と連携し患者由来

疾患特異的iPS細胞を樹立できたことは大きな一歩と考える。これらを利用し創薬に向けて少しずつ前進している。

E. 結論

RALDとJMMLは連続した疾患概念であり、従来JMMLと診断されていた症例の中にRALDが含まれる可能性があることが明らかとなった。JMMLは基本的に造血幹細胞移植が必要な血液悪性腫瘍であり、現在の診断基準を用いると造血幹細胞移植なしに生存できるRALDまたはJMMLを含有してしまうことが明らかになり、診断基準の再検討が必要なのではないかと考えられた。しかし現時点では造血幹細胞移植が必要なRAS変異のあるJMMLと造血幹細胞移植なしに生存できるRAS変異のあるJMMLとを区別することは出来ず、今後の分子細胞生物学的な解析を通して、両者を区別していくための研究を早急に行う必要があると考えられた。RALDの治療法としてステロイドを含めた免疫抑制剤が臨床症状の緩和に有用であることが明らかとなった。

F. 健康危険情報

特になし。

G. 研究発表

1. 論文発表

1. Takagi M, Sato M, Piao J, Miyamoto S, Isoda T, Kitagawa M, Honda H, Mizutani S. ATM-dependent DNA damage-response pathway as a determinant in Chronic Myelogenous Leukemia. *DNA Repair*. 2013 Jul;12(7):500-7.
2. Takagi M, Piao J, Lin L, Kawaguchi H, Imai C, Ogawa A, Watanabe A, Akiyama K, Kobayashi C, Mori M, Ko K, Sugimoto M, Mizutani S. Autoimmunity and persistent RAS-mutated clones long after the spontaneous regression of JMML. *Leukemia*. 2013 Sep;27(9):1926-8
3. Unno J, Takagi M, Piao J, Sugimoto M, Honda F, Maeda D, Masutani M, Kiyono T, Watanabe F, Morio T, Teraoka H, Mizutani S. Artemis-dependent DNA double-strand

- break formation at stalled replication forks. *Cancer Sci.* 2013 Jun;104(6):703-10
4. Tamaichi H, Sato M, Porter AC, Shimizu T, Mizutani S, Takagi M. Ataxia telangiectasia mutated-dependent regulation of topoisomerase II alpha expression and sensitivity to topoisomerase II inhibitor. *Cancer Sci.* 2013 Feb;104(2):178-84.
 5. Machida S, Tomizawa D, Tamaichi H, Okawa T, Endo A, Imai K, Nagasawa M, Morio T, Mizutani S, Takagi M. Successful treatment of diffuse large B cell lymphoma in a patient with ataxia telangiectasia using rituximab. *J Pediatr Hematol Oncol.* 2013 Aug;35(6):482-5
 6. Nagasawa M, Ohkawa T, Endo A, Mitsuiki N, Ono T, Aoki Y, Isoda T, Tomizawa D, Takagi M, Kajiwara M, Morio T, Mizutani S. Early coagulation disorder after allogeneic stem cell transplantation is a strong prognostic factor for transplantation-related mortality, and intervention with recombinant human thrombomodulin improves the outcome: a single-center experience. *Int J Hematol.* 2013 Nov;98(5):533-42.
 7. Mizutani S, Takagi M. XCIND as a genetic disease of X-irradiation hypersensitivity and cancer susceptibility. *Int J Hematol.* 2013 Jan;97(1):37-42.
 8. Isoda T, Mitsuiki N, Ohkawa T, Kaneko S, Endo A, Ono T, Aoki Y, Tomizawa D, Kajiwara M, Araki S, Nagasawa M, Morio T, Takagi M, Mizutani S. Irreversible leukoencephalopathy after reduced-intensity stem cell transplantation in adyskeratosis congenita patient with TINF2 mutation. *J Pediatr Hematol Oncol.* 2013 May;35(4):e178-82.
 9. Piao J, Sakurai N, Iwamoto S, Nishioka J, Nakatani K, Komada Y, Mizutani S, Takagi M. Functional studies of a novel germline p53 splicing mutation identified in a patient with Li-Fraumeni-like syndrome. *Mol Carcinog.* 2013 Oct;52(10):770-6.
 10. 高木正稔, 今井耕輔, 森尾友宏, 水谷修紀. 原発性免疫不全症候群関連の免疫性血小板減少症. *臨床血液* 2013 54(4) 357-64
2. 学会発表
 1. 高木正稔, 金子節子, 今井耕介, 小川誠司, 小島勢二, 森尾友宏, 水谷修紀. ATM変異のない毛細血管拡張性運動失調症 Ataxia Telangiectasia 疑い症例のエクソーム解析. 第6回日本免疫不全症研究会 2013.1.26 東京
 2. 高木正稔, 朴今花, 水谷修紀, 川口裕之, 秋山康介, 森麻希子, 康勝好, 今井千速, 渡辺輝浩, 小川淳, 小林千恵, RALDの視点から見たRAS変異陽性JMML 第18回小児MDS治療研究会 2013.6.2 名古屋
 3. 窪川芽衣, 揚曦, 吉田健一, 高木正稔, 菊地雅子, 横田俊平, 松田和之, 小池健一, 村松秀城, 奥野友介, 白石友一, 千葉健一, 田中洋子, 宮野悟, 小島勢二, 小川誠司, 金兼弘和. NRAS変異を有する自己免疫性リンパ増殖症候群様疾患の1例, 第4回関東甲信越免疫不全症研究会 2013.9.22 東京
 4. 高木正稔, 益谷美都子, 水谷修紀. E2A-HLF陽性急性リンパ性白血病に対するPARP阻害剤の有効性, 第72回日本癌学会学術総会 2013.10.3-5 横浜
 5. 高木正稔. 毛細血管拡張性運動失調症-原発性免疫不全症から血液悪性腫瘍発症機構に迫る- 第75回日本血液学会学術集会 2013.10.11-13 札幌
 6. Masatoshi Takagi, Jinhua Piao, Takahiro Kamiya, Takeshi Inukai, Kanji Sugita, Kazuma Ohyashiki, Mitsuko Masutani, Shuki Mizutani. Sensitivity to PARP inhibitor in acute lymphoblastic leukemia, 第75回日本血液学会学術集会 2013.10.11-13 札幌
 7. Akifumi Endo, Ken Watanabe, Norio Shimizu, Harutaka Katano, Naoki Inoue, Tetsushi Yoshikawa, Masatoshi Takagi, Kohsuke Imai, Tomohiro Morio, Shuki Mizutani. CIHHV-6 was activated in a patient with X-linked severe combined immunodeficiency, 第75回日本血液学会学術集会 2013.10.11-13 札幌

8. Chika Kobayashi, Teppei Okawa, Daisuke Tomizawa, Mari Tezuka, Kohsuke Imai, Masatoshi Takagi, Michiko Kaiwara, Masayuki Nagasawa, Tomohiro Morio, Shuki Mizutani. A case with refractory langerhans cell histiocytosis responded to combination of 2-CdA and Ara-C, 第75回日本血液学会学術集会 2013.10.11-13 札幌
9. Mari Tezuka, Kei Iwata, Chika Kobayashi, Shinpei Baba, Teppei Okawa, Keisuke Nakajima, Daisuke Tomizawa, Yuji Sugawara, Masatoshi Takagi, Masayuki Nagasawa, Shuki Mizutani. Critical illness myopathy following endotoxin shock in a case of acute lymphoblastic leukemia, 第75回日本血液学会学術集会 2013.10.11-13 札幌
10. 小林千佳、宮脇零士、青木由貴、今井耕輔、富澤大輔、梶原道子、高木正稔、森尾友宏、水谷修紀. 重症先天性好中球減少症(ELANE変異)に対する非血縁者間同種臍帯血移植、第19回小児H-SCT研究会 2013.10.25 東京
11. 高木正稔. RAS 関連自己免疫性リンパ増殖症様疾患(RALD) 第 116 回日本小児科学会学術集会シンポジウム 2013.4.21 広島

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

