



京都府公立大学法人
京都府立医科大学
KYOTO PREFECTURAL UNIVERSITY OF MEDICINE



京都大学
KYOTO UNIVERSITY

外傷における新たな輸血戦略の“治療標的”を AI で同定

～機械学習「因果フォレスト」で個別の治療効果を推定、外傷治療の新たな指針を提示～

本研究成果のポイント

○外傷診療において輸血は重要な治療の一つであり、最適な輸血比率（新鮮凍結血漿[FFP]と赤血球製剤[RBC]の比）が長い間議論されてきました。代表者らのグループは従来のガイドラインより高い比率の FFP 輸血の有効性を提唱してきました。しかしながら、有効性は報告により一貫せず、国際的に強い推奨が存在しません。その要因として、外傷患者の異質性が大きいことが考えられます。

○本研究では、最新の AI/機械学習である因果フォレストを用い、輸血における治療効果の異質性を解明し、従来のような「リスクの高い」症例ではなく「治療効果の高い」症例を推定することで、従来困難であった「誰により効くのか」を個人単位で明らかにしました。

○その結果、乳酸高値かつ意識障害（乳酸値 4.5mmol/L 以上かつ Glasgow Coma Scale 12 以下）の患者で、高い比率の FFP 輸血による治療効果は全体平均の約 4 倍に達することが示されました。

○本成果により、治療標的に絞った新たな臨床試験が期待されます。また、外傷治療の個別化と医療資源の最適配分が可能となる可能性があり、臨床現場での救命率向上が期待されます。

京都府立医科大学大学院医学研究科 脳神経機能再生外科学 客員講師 藤原 岳、同 教授 橋本直哉、京都大学大学院医学研究科 教授 井上浩輔、同 教授 大鶴 繁、同 客員研究員 兼 国立シンガポール大学 助教 岡田遥平ら研究グループは、重症鈍的外傷における輸血戦略の個別最適化を目的として、日本外傷データベースの全国データ 6,679 例を解析し、治療効果の異質性と治療標的を同定しました。

外傷診療では多様な病態が混在し、同一治療でも患者ごとに効果が異なる「異質性」が大きな課題です。本研究では、輸血治療の効果の異質性、特に、高い比率の新鮮凍結血漿(FFP)の輸血に着目し、最新の AI/機械学習手法である因果フォレストを用いて個々の患者の個別治療効果を推定、「誰により効くのか」を同定しました。

その結果、血中乳酸値と意識レベル（Glasgow Coma Scale: GCS）の 2 指標を組み合わせることで、治療効果が最大となるサブグループを実用的に抽出できました。とくに「乳

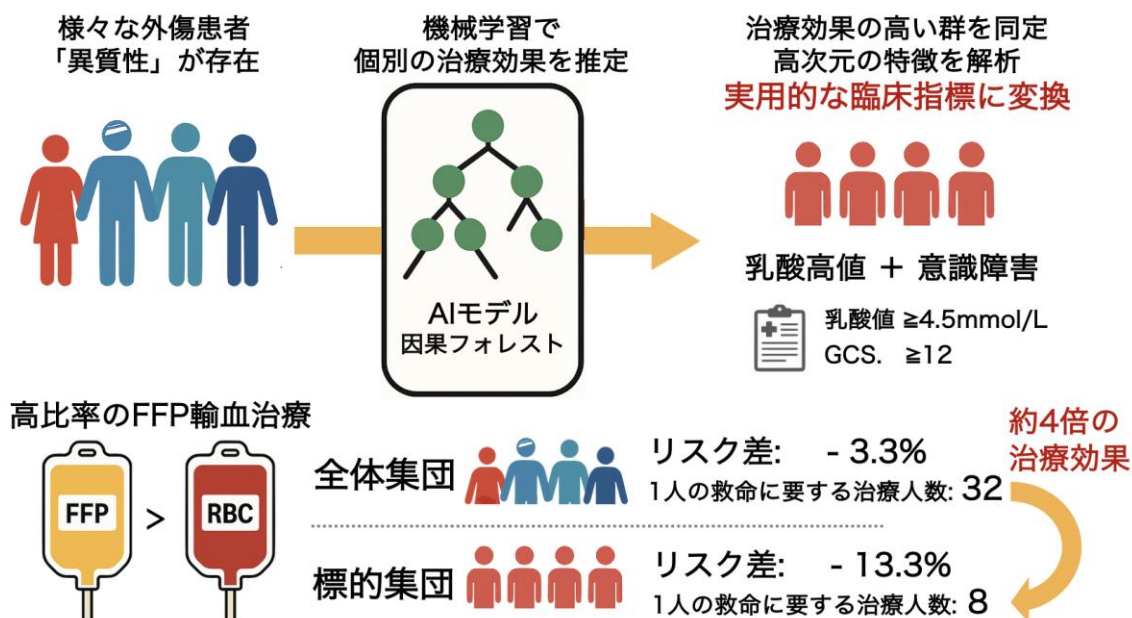
酸値 ≥ 4.5 mmol/L かつ GCS ≤ 12 」の患者群では高比率 FFP 輸血の効果が高く、全体平均のリスク差 -3.3%に対し、標的群では -13.3%と大きな改善を示しました。治療必要数に換算するとおよそ 4 倍の効果に相当します。本研究論文は科学誌『Critical Care』に 2025 年 10 月 16 日付けで掲載されましたのでお知らせします。

【論文基礎情報】

掲載誌 情報	雑誌名 Critical Care 発表媒体 ☒ オンライン速報版 ☐ ペーパー発行 ☐ その他 雑誌の発行元国 イギリス オンライン閲覧 可 URL : https://ccforum.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13054-025-05678-z 掲載日 2025 年 10 月 16 日（日本時間）
論文 情報	論文タイトル（英・日） 英語：Therapeutic Target of High Fresh Frozen Plasma to Red Blood Cell Ratio in Severe Blunt Trauma （日本語：重症鈍的外傷における高い新鮮凍結血漿/赤血球製剤比率の輸血の治療標的） 代表著者 京都府立医科大学大学院医学研究科 脳神経機能再生外科学 藤原 岳 共同著者 京都府立医科大学大学院医学研究科 脳神経機能再生外科学 橋本直哉 京都大学大学院医学研究科 井上浩輔 京都大学大学院医学研究科 大鶴 繁 京都大学大学院医学研究科 兼 国立シンガポール大学 岡田遥平 ほか
研究 情報	研究課題名 救急医療における解釈可能な機械学習を用いた意思決定支援の構築 代表研究者 京都府立医科大学大学院医学研究科 脳神経機能再生外科学 藤原 岳 資金的関与（獲得資金等） 科研費 25K24218

【論文概要】

外傷患者において、高い比率の新鮮凍結血漿輸血が有効な治療標的とは？ 最新の機械学習を用いた個別化治療への提案



FFP: Fresh frozen plasma (新鮮凍結血漿)

RBC: Red blood cell (赤血球製剤)

1 研究分野の背景や問題点

外傷医療では、年齢・受傷部位・出血量・脳損傷や合併症の有無などが患者ごとに大きく異なり、この「異質性」のため同じ治療でも効き方に差が生じます。外傷において輸血治療は重要な柱となりますが、輸血治療の効き方もこのようなばらつきが想定されます。赤血球製剤 (Red blood cell: RBC※) より新鮮凍結血漿 (Fresh frozen plasma: FFP) を多めに含む高い比率の FFP 輸血 (高 FFP 輸血) が注目されており、その有効性を示す報告はあるものの、すべての患者に一律に当てはまる強い推奨には至っていません。ここで、世界的には、平均的な効果を論じるだけでなく「誰により効くのか」を見極める個別化医療が重視されており、そこに AI/機械学習が活用され始めています。本研究もこの潮流に沿って外傷領域の「異質性」の解明に取り組みました。

私たちは先行研究として、交通事故などの鈍的外傷で高 FFP 輸血が有効であることを 2024 年に JAMA Surgery に報告しました。今回の研究はその発展形であり、患者ごとの治療効果を推定する最新の機械学習である因果フォレストを採用しました。これにより、輸血治療の効果の異質性を解明し、「どんな患者がより治療効果が高いのか」を臨床現場で使える指針へ落とし込むことを目指しました。

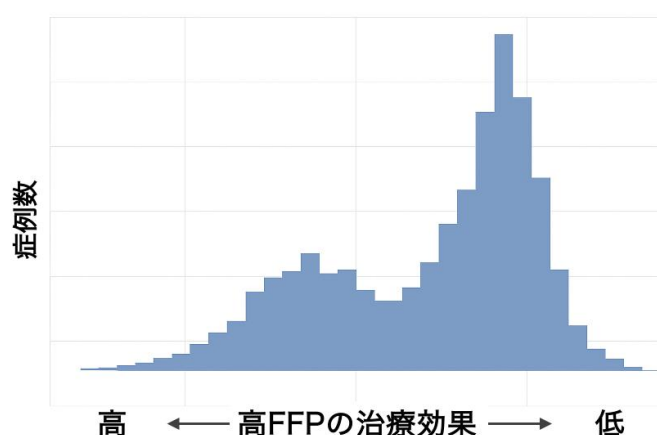
※RBC は主に貧血の治療に用いる製剤であり、FFP は血を止めやすくする凝固因子を含み、主に凝固補正に用いる製剤です。

2 研究内容・成果の要点

外傷の全国多施設レジストリである日本外傷データバンク（Japan trauma data bank: JTDB）の2019-2023年の登録症例から、輸血を要した成人の重症外傷を抽出し、計6,679例/205施設を対象に解析しました。モデル構築用と検証用にデータを分割し、高FFP輸血と院内全死亡の関連を評価しました。

ステップ1：患者ごとの“効き目”を学習

構築用コホートのデータを機械学習の因果フォレストに学習させ、各患者の個別治療効果を推定しました。推定された個別治療効果（治療効果の点数とも表現できる）の分布は二峰性であり、これは「治療効果の高い集団」と「治療効果の低い集団」の2集団が存在することが示されました。



ステップ2：現場で使える“目印”に翻訳

治療効果が大きい集団の特徴を記述統計や機械学習の手法を使って導き、高次元の情報から乳酸値と意識状態（Glasgow Coma Scale: GCS）が特に重要であることを同定しました。最終的に、日常診療で即時に測定可能な指標として、「乳酸値 ≥ 4.5 mmol/L かつ $GCS \leq 12$ 」という治療標的を定義しました。

ステップ3：検証で“効果の大きさ”を確認

定義した治療標的を検証コホートにそのまま適用し、患者背景を調整したリスク差を推定すると、全体集団（2,761例）：-3.3%（95%信頼区間 -7.0～0.3）に対して、乳酸 ≥ 4.5 mmol/L かつ $GCS \leq 12$ で定義される治療標的（571例）：-13.3%（95%信頼区間 -22.4～-4.2）と、リスク差が約10%異なることが示され、標的における治療効果の高さが確認されました。また、全体集団では1人を救命するのに約32人の治療を要する（これを治療必要数と言います）のに対して、標的群では1人を救命するのに約8人の治療を要し、これは“約4倍”の治療効果と表現することができます。

ポイントのまとめ

- ・外傷は様々な病態を引き起こす異質性が存在し、「全体平均」を見ても最適解はぼやける。
- ・機械学習で“効きやすい人”を個人単位で同定し、その見つけ方を簡単な2項目（乳酸とGCS）に翻訳。
- ・その治療標的の人たちに高FFP輸血を優先すると、救命効果が約4倍に上がる。
このような、異質性の解明と、現場で即時の活用を想定した指針を示しました。

3 今後の展開と社会へのアピールポイント

本成果は、差し迫った救急の最前線でも直感的に解釈可能な点が魅力です。乳酸と GCS はどの施設でも測定可能な指標のため、今後さらなる検証が進めば、「乳酸 ≥ 4.5 & GCS ≤ 12 なら、FFP を優先して多く輸血」というわかりやすい運用ルールにそのまま転換することが可能となります。また、下記のようなことが期待されます。

1. 医療資源の最適化: 限りある FFP を、最も恩恵が大きい患者に優先配分することで、救命率を最大化できる可能性があります。
2. 予後の改善: 標的治療により、平均の約 4 倍にあたる実質的な救命効果が期待されます。
3. エビデンス創出の効率化: 今後の臨床試験は、無作為に全員を登録するのではなく、治療効果の高いサブグループを前提に設計することで、より少ない規模でも臨床的に意味のある差を検出しやすくなります。
4. 外傷以外への波及: 外傷領域のみならず、この研究アプローチは病院前診療から集中治療まで、“治療効果の高い群の同定→標的化”は広く応用可能です。

今回の成果は、全体平均で治療を検討することの限界を超え、「誰に効くか」を見極めて現場に届ける研究です。今後の展望として、国外の外部データでの検証、治療標的に絞った新たな介入試験の計画などが期待されます。解釈困難な機械学習を解釈可能に変換し、現場の意思決定を後押しし、外傷診療の質の向上につなげていきたいと思えます。

<お問い合わせ先>

京都府立医科大学事務局

企画課 企画広報係（担当：増田）

電 話：075-251-5804

E-mail：kouhou@koto.kpu-m.ac.jp

京都大学 広報室国際広報班

電 話：075-753-5729

E-mail：comms@mail2.adm.kyoto-u.ac.jp