

筑波大学

博士(医学)学位論文

日本における小児重篤患者に対する
ヘリコプターを用いた救急医療システムの実
態と有用性に関する研究

2 0 2 1

筑波大学

榎本 有希

目次

略語

第1章 背景と目的

- 1.1 ヘリコプターを用いた救急医療システムとは
- 1.2 医師が同乗するヘリコプターを用いた救急医療システム
- 1.3 ヘリコプターを用いた救急医療システムの発展の歴史
- 1.4 日本におけるヘリコプターを用いた救急システムの歴史と現状
- 1.5 ヘリコプターを用いた救急医療システムの成人での有用性
- 1.6 小児重篤患者に対するヘリコプターを用いた救急医療システムの現状
- 1.7 研究の動機
- 1.8 目的

第2章 研究 1 ヘリコプターを用いた救急医療システムの小児に対する運用実態に関する研究

- 2.1 目的
- 2.2 方法
- 2.3 結果
- 2.4 考察
- 2.5 小括
- 2.6 図表

第3章 研究 2 小児外傷患者に対するヘリコプターを用いた救急医療システムの有用性に関する研究

3.1 目的

3.2 方法

3.3 結果

3.4 考察

3.5 小括

3.6 図表

第4章 総括

第5章 今後の展望

謝辞

出典

引用文献

略語

本論文では次の略語を使用する

HEMS	helicopter emergency medical system
GEMS	ground emergency medical system
PICU	pediatric intensive care unit
AIS	abbreviated injury scale
ISS	injury severity scale
IQR	interquartile range
JTDB	Japan trauma data bank
JCS	Japan coma scale
SMRW	standardized mortality ratio weight
ps	propensity score
OR	odds ratio
CI	confidence interval
SD	standard deviation
SBP	systolic blood pressure
HR	heart rate
RR	respiratory rate
ED	emergency department
bpm	beat per minute for heart rate and breath per minute for respiratory rate

第1章 背景と目的

1.1 ヘリコプターを用いた救急医療システムとは

ヘリコプターを用いた救急医療システム(helicopter emergency medical system, HEMS)は、救急要請に応じて医療者や救急隊員を傷病者のいる現場へ派遣し、病院に到着する前に患者に必要な医療を提供するためのシステムである。

救急医療で対象とする疾患は多岐にわたるが、最も緊急度が高い傷病として、重症外傷、急性冠症候群、脳梗塞などがあげられる。このような傷病では、発症からいかに短時間で必要な医療介入ができるかということが転帰に影響を与える。

HEMS が患者転帰を改善させる機序として以下のようなことがあげられる。1) ヘリコプターは陸路を移動する救急車より高速で移動できるため搬送時間が短縮される。これにより、目的の医療機関へより短時間内の到達が可能となる。2) 通常の救急隊員よりも重症な症例への対応に慣れたスタッフが早期から患者に対応することで、必要な医療介入が初期から可能となる。3) 現場で暫定診断を行うことで、患者が病院到着前に必要な根本治療の準備を開始でき、結果的に根本治療までの時間を短縮可能である。4) 暫定診断を行うことでより適切な搬送先病院の選定が可能となる [1]。このように、緊急度が高い患者に対して HEMS は有用なツールとなることが期待されている。

1.2 医師が同乗するヘリコプターを用いた救急医療システム

HEMS は、北米[2-4]、欧州[5]、豪州[6]などでシステムが構築されている。欧州や日本では医師が同乗する physician-staffed HEMS が主体であるが、北米や豪州では必ずしも医師が同乗しないほうが一般的である。

医師の同乗がどの程度有効かは、その地域の医師以外のパラメディックがどこまで権限を与えられ、高度な手技を行うことに習熟しているかによって異なる。

日本は諸外国と比較して、救急救命士やその他の救急隊員に許可されている医療行為が限定的であり [7]、医師が現場で傷病者に接触することで、初めて可能となる処置が少なくない。そのため、医師を現場へ派遣することで享受できるものは多いと思われる。

また、日本ではドクターカー（ラピッドレスポンスカー）の名称で知られる、車で医師や看護師を現場に派遣するシステムについても概説する。ドクターカーは主に悪天候や夜間などヘリコプターが飛行できない気象条件の際の補完手段として、ヨーロッパで始まった。ヨーロッパでの運行主体は HEMS と同じ基地病院であることが多いが、日本では HEMS の基地病院と運行主体は一致していないことが少なくない。ドクターカーの有用性に関するエビデンスは乏しいが、人口密集地などではその効果が期待されている。なぜなら都市部では、着陸地点の設定が難しい、近距離に病院があるなどの理由から、HEMS が機能しにくいと思われるためである。しかし、HEMS と異なりドクターカーは国内のごく一部しかカバーしていない。

1.3 ヘリコプターを用いた救急医療システムの発展の歴史

ヘリコプターを救急医療に用いるという発想は、山岳遭難者を救護し病院に搬送する仕組みとして、1952 年にスイスが創設したことに端を発するといわれ

ている。[8]その後、1970 年代から当時の西ドイツ圏で、次いで東西ドイツ併合の後ドイツ全域に医療スタッフとして医師が同乗する physician-staffed HEMS の形で広まった。また、1980 年代にはフランスでも導入されるなど、ヨーロッパ各国で導入されていった。一方、米国では、病院が拠点となって民間のヘリコプターを待機させ、看護師やパラメディックを載せて出動させる方式で、1980 年台に導入され全米に広がった。

1.4 日本におけるヘリコプターを用いた救急システムの歴史と現状

日本では 1995 年の阪神淡路大震災以降に HEMS が急速に広まった。2019 年 4 月現在、国内では 50 機以上のヘリコプターが HEMS として運用されている[9]。日本では physician-staffed HEMS の形式で運用されており、「ドクターヘリ」の通称で親しまれている。医療クルーとしては医師が 1-2 人と看護師 1 人が出動することが多い。HEMS は救急司令から HEMS の基地病院へ要請が入ることで起動される。現場からの要請を受けた時点で救急司令が必要性を判断することもあれば、現場に派遣された救急隊が判断することもある。要請がかかると基地病院の医療スタッフを乗せて HEMS が出動し、救急現場で HEMS の医療スタッフが患者を診療し、必要な医療処置を行った後に選定した病院へ搬送する。搬送手段はヘリコプターのこともあれば、搬送先病院の状況などによっては救急車による陸路搬送となることもある。日本における HEMS の効果については、成人の外傷を対象とした比較研究があるが[10, 11]、小児を対象としたものは小規模な記述研究しかない[12, 13]。

救急要請された傷病者にまずは救急車による地上搬送（Ground emergency medical system, GEMS）が接触する。その後にあらかじめ決められた HEMS の着陸地点に GEMS が患者を搬送し、そこで HEMS に移乗して改めて

搬送するという手順を取ることが一般的である。このため、傷病者の要請があった地点の近距離に病院がある場合には、時間的なメリットが得られにくい。要請地点から病院までの距離は HEMS の要請基準には入っていないため、距離を考慮して要請を行うかは、消防スタッフの判断に委ねられることもある。

1.5 ヘリコプターを用いた救急医療システムの成人での有用性

HEMS の有用性について、成人では外傷、非外傷ともに様々な報告がある。成人の外傷に対する HEMS の有効性に関して、2015 年にシステマティックレビューが行われている [14]。このなかでは GEMS と比較したとき、HEMS は死亡の減少に関連しないと結論されている。しかし、このシステマティックレビューで対象となった研究では、HEMS 群と GEMS 群との共変量の調整が十分でないものも少なくなかった。多変量ロジスティック回帰解析や propensity score matching などの統計手法を用いて、より確実に共変量を調整した研究のみを対象とした subgroup analysis では、HEMS が死亡の減少と関連があることが示唆された。さらにこの後に行われた研究では、HEMS は死亡の減少と関連したとするものが多くみられた [2, 3, 11, 15]。

また、成人の非外傷性疾患では、心筋梗塞 [16]や脳梗塞 [17]で、HEMS の使用と根本治療開始までの時間短縮に関連があるという報告がみられている。

1.6 小児重篤患者に対するヘリコプターを用いた救急医療システムの現状

小児患者に対する HEMS の有用性についての一定した見解はない。HEMS と GEMS を比較した研究では、死亡の減少と関連があるという報告 [18, 19, 20]と、関連しないというものがある [21]。さらに、これまでに発表された小児外傷に対する HEMS と GEMS の比較研究は米国からのものばかりで、その他の

国での状況は明らかでない。

非外傷の小児患者に対する HEMS の報告はさらに少ない。海外の記述研究では病院前で侵襲的介入を行う必要のある患者の割合は少なくなかったと報告されていた [22-24]。ただし、それらの介入と死亡の減少が関連するかどうかは検証されていなかった。

このように HEMS の有用性に関する報告がある一方、HEMS が過剰に要請されているという報告もある [20, 25]。一般的に、傷病者が発生したときには現場から救急司令に電話連絡があり、その情報をもとに HEMS の出動を判断することが多い。早期に HEMS が患者に接触するためには、十分な情報を得ることができなくても、救急司令が HEMS の出動要請することができるような体制にすることが必要である。しかし、本来は軽症なのに重症と判断すること(オーバーリアージ)があまりに多いと、出動回数が過剰となり、システムを維持するためのコストが莫大になってしまう。HEMS は GEMS より運行により多くのコストがかかる[26, 27]。さらに、人的資源という意味でも、システムを維持するためには航空運行側も、医療側も熟練したスタッフが必要とされている [28]。

1.7 研究の動機

日本の小児の死亡率は年々低下傾向にあるとはいえ、日本の小児救急医療体制はまだ、十分な検証がなされているとはいえない。重篤な救急疾患へ対応するためのシステムとして、HEMS は近年急速に普及してきたが、小児に関していうと日本ではその実態に関する記述疫学研究すらない。このような貴重なシステムを有効に活用するためには、現状の把握と、HEMS による患者の予後への影響を検証し、明らかにすることが重要であると考え、本研究を施行した。

1.8 目的

本研究の目的は、日本の小児患者に対する HEMS 運用の現状と、小児救急患者の予後に対する HEMS の影響を明らかにすることである。

本研究目的を達成するために、下記の 2 つの研究を行った。

研究 1 ヘリコプターを用いた救急医療システムの小児に対する運用実態に関する研究

茨城における小児患者に対する HEMS の活動状況と現場で実施された処置について記述することを目的とした。

研究 2 小児外傷患者に対するヘリコプターを用いた救急医療システムの有用性に関する研究

小児患者において、HEMS の介入が GEMS と比べたときに死亡の減少と関連があるかどうかを明らかにすることを目的とした。

第2章

研究 1

ヘリコプターを用いた救急医療システムの小児に対する運用実態に関する研究

2.1 目的

HEMS が日本の救急医療システムの一部として普及し始めてから 20 年あまりが経過し、成人を対象とした研究はいくつかみられてきている[10, 11]。しかし、小児患者を対象とした日本の報告はまだない。日本の小児救急患者に関して HEMS が効果的に運用されていない可能性があるという仮説のもと、茨城県内の小児患者に対する HEMS の活動状況と現場で実施された処置について記述することを目的として研究 1 を行った。

2.2 方法

2.2.1 デザイン

本研究はデータベース解析後方視的観察研究である。茨城県の HEMS データベースからデータを抽出した。

2.2.2 セッティング

2017 年の茨城県の人口は およそ 290 万人、18 歳未満の小児人口はおおよそ 40 万人であった。小児人口は県央と県南部に比較的多かった (Figure 1-1)。茨城県の HEMS はおよそ 8 km の距離にある 2 つの救命救急センターが基地病院として運行している。

茨城 HEMS の要請基準は以下のア)～エ)のいずれかを満たす状態である。

ア) 生命の危険が切迫しているか、その可能性が疑われるとき。イ) 重症患者であって搬送に長時間を要することが予想されるとき。ウ) 特殊救急疾患(重症熱傷, 多発外傷, 四肢切断等)の患者で搬送時間の短縮を図る必要があるとき。エ) 救急現場で救急診断処置に医師を必要とするとき。なお。心肺停止は要請基準からは除外されているが、HEMS が着陸する直前に、心肺停止と判明し

たときにはそのまま HEMS が対応することもあった。また、救急要請時の情報で要請基準にあてはまっていたとしても、救急隊が患者を直接初期評価して、軽症であることが確認できた場合には HEMS をキャンセルすることもある。

小児救急患者に対する医療システムは茨城県の保健医療計画のなかで規定されている[29]。比較的重症な患者は2次医療圏ごとに設定された小児中核病院に集約され、小児中核病院で治療が困難な際には Pediatric Intensive Care Unit (PICU)へ集約される。

一方、重症外傷患者は、通常は小児でも救命救急センターへ搬送される。茨城県内では、救命救急センターと小児中核病院を兼ねている病院もあるが、そうでない病院もあり、地域によっては小児科の常勤医がいない救命センターで小児外傷に対応せざるをえないこともあった。

HEMS へ従事する医師は基本的には救急医であるが、外科、麻酔科、循環器科、集中治療科などのサブスペシャリティーをもつ。

2.2.3 データベース、変数

2010 年 7 月の運行開始以来、HEMS の 2 つの基地病院(国立病院機構水戸医療センター、水戸済生会総合病院)で作成していたデータベースを使用した。データベースには飛行記録、傷病者年齢、傷病の種類、重症度、現場での処置、搬送先病院、生存退院かどうか、といった情報が含まれていた。外傷の場合にはさらに、負傷した部位とそれぞれの部位の Abbreviated Injury Scale (AIS) score [30]、Injury Severity Scale (ISS) [31] が用いられていた。AIS と ISS は世界的に広く用いられている外傷の重症度評価のためのツールである(参考資料 1)[32]。AIS は解剖学的な身体部位ごとに損傷の重症度を 1 (軽症)から 6 (救命不能)までの 6 段階に分類したものである。本研究では、AIS 3 以上

を重大外傷と定義し、AIS 3 以上の外傷部位がない場合を軽微な外傷と定義した。ISS は身体部位を頭頸部・胸部・腹部・骨盤・四肢・体表の 6 部位にグループ化し、それぞれの部位で最も高い AIS スコアをその部位の点数とした上で、AIS スコアの高い部位 3 つのスコアをそれぞれ 2 乗して足し合わせたものである。ISS が高いものほど重症であることを意味する。病院前の傷病重症度は、救急隊が使用しているスケールで、軽症（入院が不要）、中等症（一般病棟への入院が必要だが、重症ではない）、重症（集中治療が必要だが、重篤ではない）、重篤（死が切迫している）の 4 段階で定義されていた。

患者の年齢は、乳児（<1 歳）、未就学児（1-5 歳）、少年（6-11 歳）、青年（12-17 歳）の 4 段階に区分した [33]。死亡した患者は、その詳細について記述した。救急外来に到着後のデータは HEMS の基地病院に搬送されたときのみ収集された。

2.2.4 患者選択

2010 年 7 月から 2016 年 12 月までの間に 18 歳未満の患者に対して HEMS が現場で活動したケースをデータベースから抽出した。HEMS が要請されたが、患者を診療する前にキャンセルされた場合は検討から除外した。局地災害への対応の場合には、医療資源と傷病者の不均衡が発生し、通常の医療活動とは診療方針が異なってくる。そのため、局地災害に対して、HEMS が要請された場合にも検討から除外した。局地災害の定義は消防組織ごとに事前に決められていた。

6 年半あまりの期間に茨城 HEMS では 3,804 人の患者に対して診療を行った。それらのなかで 3,435 人が現場から搬送され、残りの 369 人は病院間搬送

のための出動であった。現場で診療をしたうち 3,130 人が 18 歳以上であった。高校で熱中症のために同時に 17 名の傷病者が発生し、HEMS が要請されたケースは局所災害対応であるとして除外した。最終的に 288 名の小児を対象として検討を行った (Figure 1-2)

2.2.5 統計解析

連続変数は中央値と四分位 (interquartile ranges, IQRs) を用いて報告した。カテゴリ変数は実数と割合で報告した。Stata version 14 (Stata-Corp, College Station, Texas, USA) を解析に使用した。

2.2.6 倫理

本研究は、水戸医療センターの倫理委員会で承認を受けた。匿名化されたデータのみ使用するため患者からの同意書の取得は必要ではなく、公開文書を提示し、同意しない意思を提示する機会を設けた。

2.3 結果

2.3.2 患者背景

288 名の対象小児患者の背景は Table1-1 に示すとおりである。202 人 (70.1%) が男児であった。年齢の中央値は 11 (IQR 5-14) 歳であり、青年が最も多い年齢区分であった。HEMS によって、病院まで搬送された患者は 244 人 (84.7%) であった。残りの患者は HEMS の医療スタッフにより初期診療が行われた後に救急車により近隣の病院に搬送された。HEMS 基地病院からの距離は中央値 20.1 (IQR 14.4 – 35.5) km であった。

2.3.3 搬送理由、受傷部位、重症度

搬送理由を Table 1-2 に示した。196 人 (68.1%)が外傷による要請であった。外傷の主な受傷形態は交通事故 (39.2%) と転落・墜落 (14.6%) であった。3 人(1.0%)は溺水であった。最も一般的な要請内容は痙攣 (26 人、9.0%)であった。痙攣で要請されたうちの 19 名については、HEMS スタッフが現場で接触したときには痙攣は頓挫していた。交通事故やスポーツ関連による外傷は高年齢で多く、窒息や熱傷は低年齢で多く認められた。

重大外傷の部位を Table 1-3 に示した。頭部外傷は最も一般的な受傷部位であった (n=25/196, 12.4 %)。軽微な外傷のみの患者が外傷患者のうち 81.1% (n=163/196) を占めていた。ISS の中央値は 4 (IQR 1-9) であり、現場での重症度評価が軽症あるいは中等症の患者が 221 人 (76.7%) を占めていた (Table 1-1)。乳児はより高い年齢区分の患者に比べて、現場での重症度が高かった。(Figure 1-3)

2.3.4 現場での処置

219 人 (76.0%)が現場で何らかの医療行為がなされていた。静脈路確保 214 人 (74.3%)、気管挿管 20 人 (6.9%)、心肺蘇生 4 人 (1.4%)、薬剤投与 (エピネフリン、ベンゾジアゼピン、鎮痛薬、筋弛緩薬) 38 人 (13.2%)であった。

2.3.5 搬送先病院

99 人 (34.4%)が小児中核病院へ搬送された (Table 1-1)。特に低年齢区分の非外傷患者は小児中核病院に搬送されていた (Figure 1-3)。少年と青年の外傷患者は、小児中核病院であるかどうかにかかわらず、救命救急センターに搬送されていた。

2.3.6 転帰

127 人 (44.1%)の患者が HEMS 基地病院に搬送された (Table1-4)。そのうち 37 人 (29.1%)が救急外来から帰宅した。病院内死亡は 2 人 (1.6%) であった。そのうちの1人は現場心肺停止症例であり、もう 1 人は致死的外傷であった (予測生存率 2%)。入院期間の中央値は 2 (2-9) 日であった。

2.4 考察

日本に HEMS が取り入れられてから 20 年が経過するが、小児患者に対する HEMS の報告は非常に少ない。本研究では茨城 HEMS によって搬送された小児救急患者の特徴、診療経過について記述した。

本研究によりいくつかの問題点が明らかになった。まず、搬送患者の重症度である。現場での患者の重症度はおよそ 8 割が軽症から中等症であった。全患者のうち 2/3 は外傷によるものであったが、結果的に軽微な外傷のみの患者が 8 割を占めていた。また、入院せずに救急外来から直接退院した患者も 3 割程度を占めていた。小児では HEMS が軽症例に対しても過度に使用されているという報告がある [25, 34, 35]。我々の研究も同様に、あまり重症でない小児患者にも高頻度に HEMS が使用されている実態が明らかとなった。その理由としては以下のようなものが考えられる。1) 成人に比べて、小児は主訴がわかりにくく、啼泣などによりバイタルサインの測定も困難となる。さらに、正常値が年齢ごとに異なるためその解釈も習熟が必要である。一般的に評価が不十分なきには、アンダーtriageを避けるためにオーバートriageとなりがちである。それゆえ、救急隊が小児患者に不慣れで、重症度判断が十分でなく、オーバートriageがされやすかった。2) 救急隊が小児に対してできる医療処置が非常に限られていた。3) 小児患者はバイタルサインが年齢により異なる上、主訴を確認することが難しく、短時間で重症度を正確に判定することが困難なことがある。4) HEMS の要請基準はエビデンスに基づいたものではなく、その適正さについての検証もなされていなかった。これらの理由により、小児救急患者に対して、現場で正確なtriageを行うことは極めて困難である。重症な患者を誤って軽症と判断してしまうアンダーtriageを回避するため、比較的軽症でも重症と評価して対応するオーバートriageはある程度許容されるべきである。

と考える。一方で小児の HEMS に対するオーバートリアージの一般的な基準は定まったものではなく、成人も含めた一般的な現場トライアージで、アンダートリアージは5%未満、オーバートリアージは25-35%にするべきだという推奨が American college of surgeons から出されているに過ぎない[36]。しかし、現実的には小児の HEMS 患者はオーバートリアージされやすく 60-70% にのぼるという報告もある[20, 25]。一方、HEMS、および GEMS の経費は、それぞれ一回の出動あたり 40-60 万円と 4-6 万円と HEMS のほうがよりコストがかかる。[26, 27, 37, 38] 従って、医療経済的には過度の使用は避けたほうが望ましい。アンダートリアージの回避と経済性のバランスをとるためには、HEMS によるメリットが大きくなることが予想される緊急度の高い重症例をより正確に見極め、利益が最大となる HEMS の要請基準やトライアージ基準を確立することが必要となる。

次に搬送先病院の問題があげられる。これまでの研究で、非外傷の患者に対して PICU のように小児患者を集約化して診療することが死亡の低下と関連することが明らかにされている [39-41]。我々の研究では、非外傷患者は特に低年齢の群では、小児中核病院に搬送されていた。また、外傷でも小児外傷センターに集約化して診療することで死亡を減少させることができるという海外の報告が多数みられる [42-45]。しかし、日本では成人でも外傷センターは制度化されておらず、ましてや小児の外傷に関してはどのような病院で診療すべきかという方向性さえ定まっていないのが現状である。今後は日本でも小児外傷を診療するための統合された医療システムを構築する必要がある。

本研究では、3/4 の患者が現場で何らかの医療行為が必要と HEMS スタッフが判断していた。先行研究において、7-8 割の患者に現場処置が実施された [23, 46] とする報告と概ね一致する。日本では、救急隊が許可された医療処置は非常に限られており、HEMS 医師によって初めて施行可能となる処置が

少なくない。重症な患者では早期の介入が有効で [47]、HEMS によりメリットを享受できる患者群も存在すると考えられる。現場での輸液路確保をしたために軽症でおさまったのか、軽症なのに輸液路を確保したのかは今回の研究からは不明であり前方視的な検討が必要である。

本研究の限界として、まず現場での重症度は客観的な指標に基づくものではなく、主観的な評価であることがあげられる。現状は現場で簡便に使用できる小児用のトリアージスコアは国際的にも確立されておらず [48]、今後の標準化された指標による重症度評価が求められる。その一方、訓練された HEMS 医師による主観的な評価は有効との報告もある。[49]

また、本研究結果は、あくまで、茨城県の実情であり、都市部を含む日本全体の現状を正確に反映しているわけではない。全国 289 箇所の救命救急センターのうち、そのほとんどは東京(25/289, 8.6%)や神奈川(21/289, 7.2%)など、人口密集地域に集中している[50]。人口比でみると、都道府県間の格差は 8 倍程度におさまっているが、面積比でみると、もっとも多い東京都と少ない鹿児島や北海道の間には 100 倍以上の開きがある[51]。現場から病院までの搬送距離は、面積あたりの病院数に影響されるため、近距離に多くの病院がある都市部では HEMS が得られるメリットは少ない可能性がある。しかし医療制度は概ね全国共通であり、搬送患者の大半が軽症であるという問題はある程度共通であると考えられる。また、基地病院以外に搬送された患者の転帰についての検討は今回行われていない。

2.5 小括

茨城県内 HEMS データベースを後方視的に検討し、小児患者に対する HEMS の活動状況と現場処置を検討した結果、HEMS によって搬送される小児患者の重症度は高くない一方で、医療行為は大多数の患児に対して行われていることが明らかとなった。救急隊への小児評価教育の充実、救急隊が患者の初期評価を行った後に、軽症であることが明らかになった場合には HEMS のキャンセルを行うことを徹底するなど、救急隊員の教育や運用の見直しが必要である。患者要請基準の妥当性を検証し、適正搬送のモニタリング・解析を続けることは、限られた資源である HEMS をより有効に使うために必要である。

2.6 図表

Figure1-1 Geographic details of our helicopter emergency service

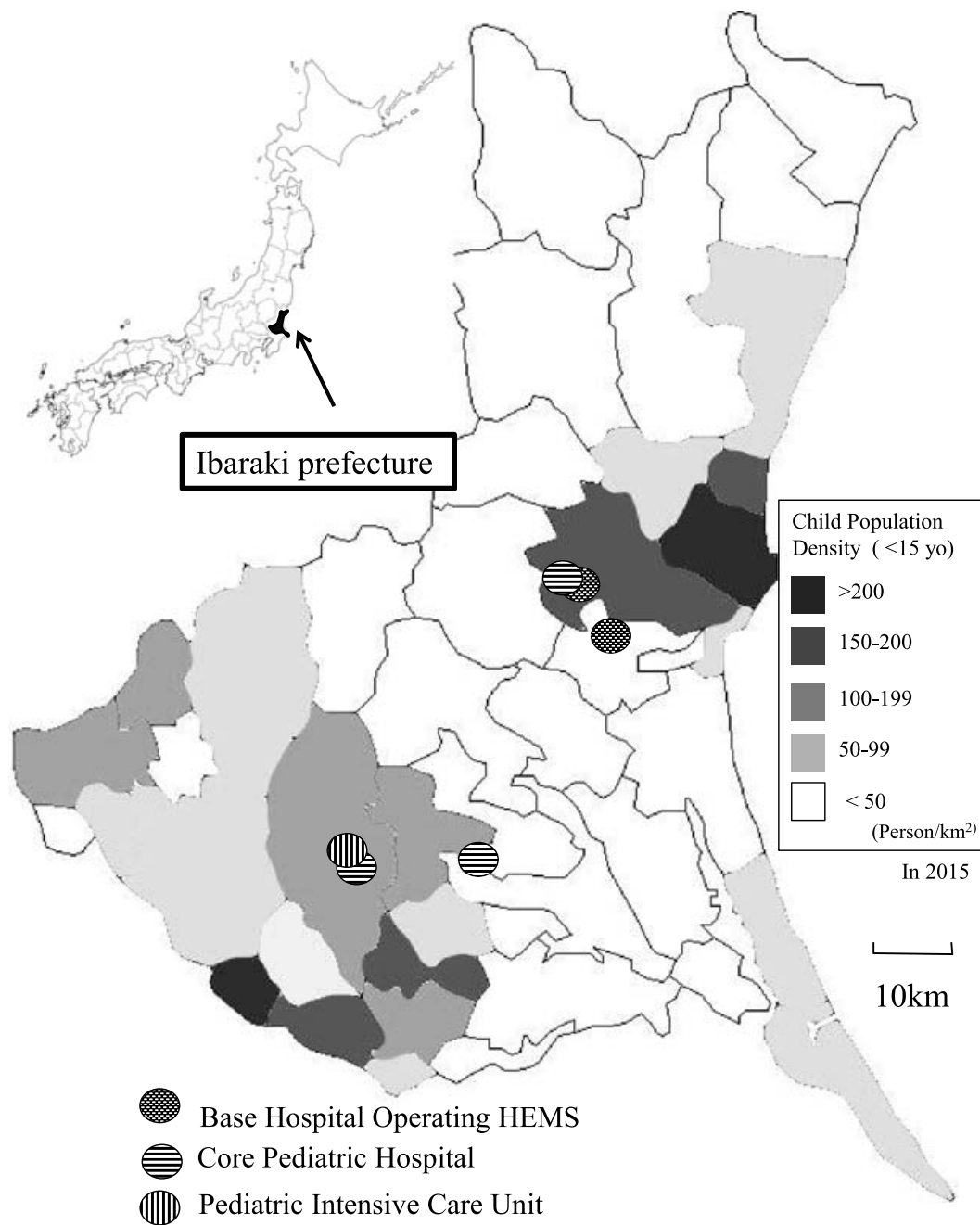


Figure 1-2 Patients selection flow

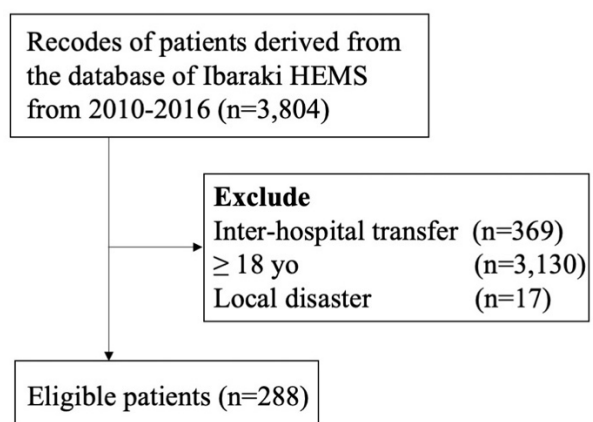


Figure 1-3 Patients transferred to hospitals by age group.

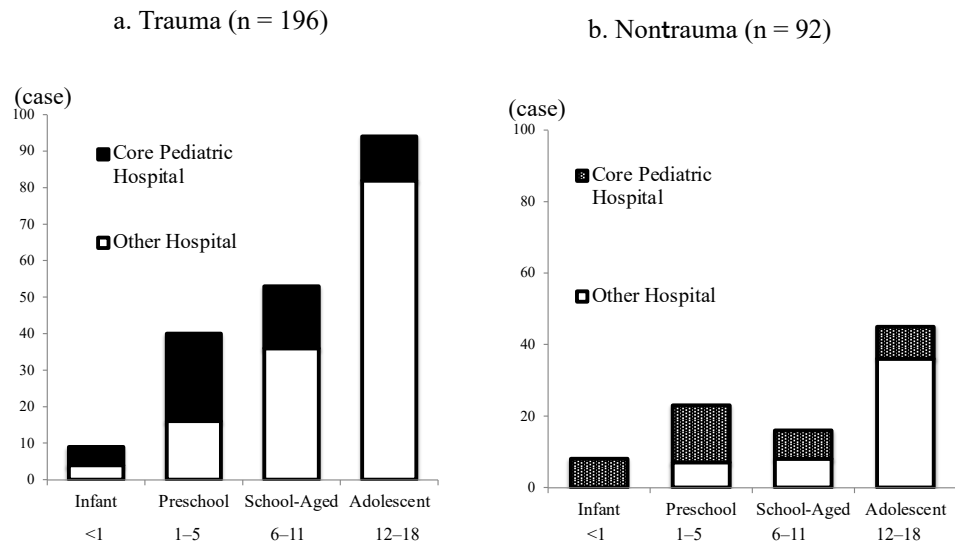


Table 1-1 Patients ' characteristics (N=288)

Sex (male), n (%)	202 (70.1)
Age, year, median (IQR)	11 (5–14)
Age Group, n (%)	
Infant	17 (5.9)
Preschool	63 (21.9)
School-aged	69 (24.0)
Adolescent	139 (48.3)
Transferred from scene by HEMS, n (%)	244 (84.7)
Distance to scene, median km (IQR)	20.1 (14.4–35.5)
Injury Severity Score, median (IQR)	4 (1–9)
Severity at Scene, n (%)	
Mild	75 (26.0)
Moderate	146 (50.7)
Severe	45 (15.6)
Critical	6 (2.1)
Data missing	16 (5.6)
Glasgow Coma Scale, median (IQR)	15 (13–15)
Coma, n (%)	32 (11.8)
Hypotension, n (%)	4 (1.6)
Transfer to core hospital, n (%)	99 (34.4)
Interventions at scene, n (%)	
Oxygen mask	166 (58.5)
Tracheal intubation	20 (6.9)
Defibrillation	2 (0.7)
Intravenous cannulation	214 (75.1)
Drug administration	38 (13.4)
Advanced cardiopulmonary life support	7 (2.5)
Intraosseous access	5 (1.7)

Table 1-2 Incident type (N=288)

Trauma, n (%)	n (%)	Median age (IQR)
Traffic accident	113 (39.2)	11 (7–16)
Fall	42 (14.6)	8 (2–13)
Sports injury	23 (8.0)	14 (13–16)
Other trauma	11 (3.8)	7.5 (0–13)
Burn	7 (2.4)	1 (0–13)
Non-trauma, n (%)		
Poisoning	2 (0.7)	8.5 (0–17)
Drowning	5 (1.7)	8 (8–13)
Heat stroke	6 (2.1)	14.5 (12–16)
Choking	4 (1.4)	0.5 (0–2.5)
Anaphylaxis	13 (4.5)	9 (2–14)
Seizure	26 (9.0)	6.5 (3–12)
Other central nerve system disease	13 (4.5)	16 (14–17)
Cardiovascular disease	4 (1.4)	14 (13.5–14.5)
Respiratory disease	4 (1.4)	6 (0–12)
Gastrointestinal disease	2 (0.7)	13 (11–15)
Cardiopulmonary arrest	3 (1.0)	6 (0–8)
Others	8 (2.8)	12.5 (6–13.5)
Missing, n (%)	1 (0.3)	

Table 1-3 Anatomical location of the significant injury* (N=196)

Anatomical location, n(%)	
Head	25 (12.4)
Chest	8 (4.0)
Abdomen	5 (2.5)
Extremities	7 (3.5)
Only minor injury	163 (81.1)

*Significant injury means each Abbreviated Injury Scale (AIS) score is greater than or equal

to 3, and minor injury means no part of the AIS is greater than two.

Patients who had more than one severe injury were categorized in each location.

Table 1-4 Prognosis of patients transferred to HEMS base hospitals (N=127)

Prognosis, n (%)	
Discharge from ER	37 (29.1)
Death at ER	1 (0.8)
Immediate transfer to core hospital	4 (3.1)
Discharge to home after admission	84 (66.1)
Death in hospital	1 (0.8)
Hospital length of stay, median day (IQR)	2 (2-9)

IQR, interquartile range

参考資料 1

I. Abbreviated Injury Scale (AIS)

1) 目的と概要

AIS は 1971 年米国において交通事故の際に人体に生じた損傷を標準化し分類するために開発されたスケールである。1980 年代になり、外傷治療システムの進歩と患者登録制度の発展のなかで、鈍的外傷のみでなく、鋭的外傷にも対応したスケールに改訂され、現在は交通事故に限らず外傷一般に対して広く使用されている。

AIS のスコアの原則として 1. 損傷の記述は解剖学的見地からのみ行い生理学的見地によらない。2. 損傷それ次回をスコア化するものなので損傷によって引き起こされた機能障害については考慮しない。3. 予測される死亡率に基づいて単純にランク付けしたものではない。

2) 多発外傷の評価

AIS は解剖学的な身体部位毎にそれぞれの損傷簿分類し、重症度を右表の 6 段階で評価する。

AIS 重症度コード	内容
1	軽症
2	中等症
3	重症
4	重篤
5	瀕死
6	救命不能

II. Injury Severity Score (ISS)

1) 目的と概要

ISS は 1974 年に開発された。身体各部位の最大 AIS のうち、上位3部位の値の二乗和として

定義され、このスコアによる重症度は死亡率とよく相関しており、多発外傷の複合重症度評価の指標として使われている。

2)計算方法

スコアリングした AIS を、1.頭頸部、2.顔面、3.胸部、4.腹部および骨盤内臓器、5.四肢および骨盤、6.体表の6部位に分けて、それぞれの部位で最も大きなものを選び、二乗して和を求める。一例を下記に示す。

ISS での部位	損傷	AIS の重症度	(最大 AIS) ²
頭頸部	脳挫傷	3	16
	頸動脈の完全断裂	4	
顔面	耳裂創	1	
胸部	肋骨骨折(左側第 3-4)	2	
腹部	後腹膜血腫	3	9
四肢	大腿骨骨折	3	9
体表	全身の擦過症	1	
			ISS=34

第3章

研究 2 小児外傷患者に対するヘリコプターを用いた救急医療システムの有用性に関する研究

3.1 目的

小児外傷に対する HEMS と GEMS の比較研究は米国からのものばかりで、その他の国での状況は明らかでない[18, 19, 20, 21]。さらに、それらの研究のなかでも、小児患者に対する HEMS の効果は一定した見解にいたっていない。その一方、HEMS の維持に必要な医療コストは高額であり[26, 27]、システムを有効に活用するためには、現状を把握し、HEMS による患者の予後への影響を明らかにすることが重要である。

研究 2 では、小児外傷患者に関して、HEMS の介入により GEMS と比べて死亡が減少するという仮説のもと、HEMS の介入が GEMS と比べたときに死亡の減少と関連があるかどうかを明らかにすることを目的とした。

3.2 方法

3.2.1 研究デザイン

本研究は多施設共同データベースに基づく後方視的観察研究である。

3.2.2 セッティング

Japan Trauma Data Bank (JTDB) から許可を得てデータを使用した。JTDB は日本の外傷診療外傷患者に関わるデータを広く集積し、データを解析した上で、結果を医療現場にフィードバックするという目的のもとに 2003 年に日本外傷外科学会によって開始された。2017 年 3 月時点で 264 病院が自主的にデータ登録を行っている。93%が救命救急センターである [52]。データベースへの登録は AIS が 3 以上の部位があることが目安となっているが、より軽少な患者でも登録されることもある。JTDB の登録項目は患者基本情報(年齢、性別、受傷年月日、受傷原因)、病院前情報(搬送経路、搬送手段、

消防機関名、消防機関対応時間、現場バイタルサイン、病院前処置)、来院時情報(来院時バイタルサイン、既往症)、来院時検査・処置(介入の有無と開始時間; 超音波、CT、血管造影、手術、輸血)、診断名と損傷(AIS、ISS、合併症)、退院時情報(入院病棟、人工呼吸管理日数、ICU 在室日数、退院日、転帰など)、外傷症例の病院前から病院内治療、予後など、92 項目に及ぶ。端的には、本データベースは研究1で用いた茨城 HEMS におけるデータベースと比較して、全国規模のより重症症例に焦点をあてたデータベースといえる。

3.2.3 患者

2004 年から 2015 年の間に JTDB に登録された患者のうち、18 歳未満で、HEMS か GEMS で現場から病院へ搬送された患者を対象とした。HEMS は日中のみしか運行しないため、8 時から 18 時に病院へ到着した症例のみを検討対象とした。心停止蘇生後の症例は転帰が極めて不良であり、熱傷はその他の外傷とは経過が異なるために除外した [18, 21]。また、外傷の受傷機転、現場でのバイタルサイン、転帰が欠損している症例は除外した。

3.2.4 変数

年齢、性別、受傷機転、現場でのバイタルサイン(心拍数、収縮期血圧、呼吸数、意識状態)、部位ごとの AIS、ISS、緊急手術の有無、救急要請から病院到着までの時間と現場から病院到着までの時間、病院到着から輸血と手術開始までの時間、救急外来の後の行き先(ICU や一般病棟など)、病院内死亡の有無、入院日数、自宅退院の有無について検討した。

主要アウトカムは病院内死亡、副次アウトカムは在院日数とした。

患者の年齢は乳児（1 歳未満）、幼児（1-2 歳）、児童（3-5 歳）、学童（6-9 歳）、少年（10-12 歳）、青年（13-17 歳）の 6 群に分類した。バイタルサインはこれらの群ごとに正常、高値、低値に分類した [53]。

高血圧症の閾値は乳児 104 mmHg、幼児 106 mmHg、児童 112 mmHg、学童 115 mmHg、少年 120 mmHg、青年 131 mmHg とした。低血圧は次の通り 乳児 70 mmHg 未満、1-10 歳 $70 + (2 \times \text{年齢})$ mmHg 10 歳以上 90 mmHg 未満。正常な心拍数は乳児 60-180 回/分、幼児 60-140 回/分、児童 60-120 回/分、学童と少年 60-118 回/分、青年 60-100 回/分。正常な呼吸回数は乳児が 29-53 回/分、幼児 21-37 回/分、児童 19-28 回/分、学童と少年 17-25 回/分、青年 11-20 回/分とした (Supplemental table)。

意識状態は Japan Coma Scale (JCS) を用いた [54, 55]。緊急手術は病院到着後 3 時間以内に手術が開始されたもの [56]、緊急輸血は病院到着後 2 時間以内に輸血を開始したものと定義した。重症外傷は AIS 3 以上と定義した。現場から到着までの時間が 120 分以上、病院到着から手術までの時間が 48 時間以上のものはそれぞれ欠損データとした。

3.2.5 統計解析

連続変数は平均値と標準偏差で示した。カテゴリ変数は数値と割合として示した。連続変数は t 検定、順序変数は Wilcoxon rank-sum 検定、カテゴリ変数はカイ 2 乗検定を行った。検討に加えた全小児患者に加えて、病院内死亡した患者についてもその特徴を記述した。

搬送方法は無作為に選択されたわけではないので、測定された交絡を調整するために standardized mortality ratio weight (SMRW) 法を使用し、周辺構造化モデルを適応した [57, 58]。交絡因子を考慮した HEMS が適応される条件

付き確率として傾向スコア(propensity score, ps) を使用した。ps は、年齢、性別、ISS、重症外傷を負った部位、および現場での年齢区分別バイタルサインを独立変数としてロジスティック回帰モデルを用いて算出された。独立変数は介入によって直接影響を受けないと思われるものを慎重に選択した。

HEMS 群の重み付けは 1 とした。GEMS 群は算出された ps を 1 から ps を引いたもので除したもの $[ps/(1-ps)]$ を重み付けとした。これにより、GEMS 群を HEMS と同様の背景をもつものとして、比較ができるようになる。いい換えれば、未測定の交絡因子がなければ、GEMS 群の患者が全て HEMS で搬送されたとして、両群間の比較ができるようになる。

その上で、重み付きロジスティックおよび線形回帰分析を用いて、病院内死亡と在院日数のオッズ比と平均差を算出した。搬送方法として、HEMS と GEMS のいずれを使用するかは、患者の状態だけでなく、地域の状況や気象条件によっても影響を受けるため、患者の状態が同様でも、その他の状況で搬送方法が変わる可能性もある。このような条件を考慮すると SMRW を用いた周辺構造化モデルは我々の研究目的に適していた。作成した重み付けの trimming や truncation は行わなかった。

この解析では共変量に欠損値のある患者は除外して行った。両側検定で $p < 0.05$ を有意差ありとして検定を行った。Stata version 14 ((Stata-Corp, College Station, Texas, USA) を用いて解析した。

サブグループ解析

HEMS が有効なのは重症外傷患者 (ISS > 15) のみと報告されている [20, 25] ので、重症度と HEMS の有効性の関連性を確認するために、ISS > 15 と ≤ 15 の患者を対象としたサブグループ分析を実施した。また、病院が近いと搬送時間が短くなり、HEMS の効果が薄れる可能性があるため[18]、搬送時間に

についてもサブグループ分析を行った。搬送時間は>15 分と≤15 分に分類した。

感度分析

使用したデータの期間が長く、時代による小児外傷管理の変化が結果に影響を与えている可能性があると考え、受傷の年を加えて傾向スコアを作成し直して、感度分析を行った。

3.2.6 倫理

JTDB への登録は筑波大学附属病院倫理委員会で認可を受けた(H29-114)。また、本研究は、水戸医療センターの倫理委員会で承認を受けた(2017-19)。匿名化されたデータのみ使用するため患者からの同意書を取得する必要はなく、公開文書を提示し、同意しない意思を提示する機会を設けることとした。

3.3 結果

全体で 5,947 人の患者が抽出された(Figure 2-1)。453 人が HEMS によって搬送され、5,494 人が救急車によって搬送された。HEMS 群のほうが交通事故(Motor Vehicle, Motorcycle, Pedestrian)による受傷機転が多かった。また、生理学的評価では、現場での心拍数や呼吸数、意識障害などのバイタルサインが異常値である症例も HEMS 群が多かった。解剖学的評価では、HEMS 群で、頭部、胸部の AIS スコアが 3 以上の割合が多く、平均 ISS の値も有意に高くより重症で、病院到着後に緊急輸血を要した割合も多かった。さらに HEMS 群では救急外来から直接退院した患者は GEMS 群より少なかった。そして、救急要請を受けてから病院までと、現場から病院までの搬送時間は GEMS 群のほうが長かった。(Table 2-1)。

病院内で死亡した患児は 70%が現場において昏睡状態であり、半数以上の

患児が頭部または頸部の重症外傷をきたしていた。また、それに続く受傷部位は胸部と腹部であった。死亡例の ISS は両群ともに平均値は 25 以上であるにもかかわらず、緊急手術はその半分以上の患者でしか施行されていなかった (Table 2-2)。

調整をしない病院内死亡は HEMS 群のほうが GEMS 群よりも高かった (Table 2-1) が、共変量を調整すると差はなくなった。 (odds ratio (OR) = 0.82, 95% confidence interval (CI) = 0.42–1.58; Figure 2-2)。

外傷の重症度と現場から病院までの時間の影響を調べるために、サブグループ解析を行った。まず、重症外傷患者 (ISS > 15) 群については、HEMS は病院死亡と関連していなかった (OR = 0.94, 95% CI = 0.48–1.83)。ISS < 15 の群では、HEMS 群で死亡した患者はいなかったため、OR は算出できなかった。次に、搬送時間について検討したが、同様に調整後の病院死亡と関連していなかったものの、搬送時間が長い群と死亡の減少とに関連がある傾向があった。 (>15 分, OR = 0.4, 95% CI = 0.15–1.05; ≤15 分, OR = 1.92, 95% CI = 0.76–4.86)

次に、副次アウトカムである在院日数の解析を示す。欠損データのため HEMS 患者 9 名、GEMS 患者 85 名を在院日数の解析から除外した。未調整の場合、2 群間の在院日数に有意差はなかった (Table 2-1)。さらに、共変量を調整しても HEMS と GEMS の間に有意差はなかった (Table 2-3)。患者の重症度と搬送時間でのサブグループ解析でも、HEMS は在院日数の短縮とは関連していなかった。

受傷した時期を分析に加えた感応度分析でも、結果は主解析と同様で次の通りであった。院内死亡 (OR 0.83, 95% CI = 0.43–1.61)、在院日数 (平均差 -1.40, 95% CI = -4.86–2.07)。

3.4 考察

日本の小児外傷患者に対するHEMSの影響を明らかにするために、SMRW法を用いた周辺構造化モデルを使用して検討した。調整前はHEMS群のほうがより重症であったが、共変量を調整すると院内死亡割合に差はみられなかった。

HEMSによる搬送が、小児外傷患者の予後に与える影響に関して確立した見解はない。最も初期の研究ではHEMSの使用と死亡の減少とに有意な関係をみいだせなかった[21]。しかし、その後のより大規模な研究では、中等症から重症の小児外傷患者においては、死亡の低下と関連するということが報告された[18-20]。

本研究でHEMSの使用と死亡の減少との間に有意な関係がみいだせなかった理由として以下のようなことが考えられる。第1に、早期介入を行っても救命困難な致死的重症外傷であった可能性がある。小児外傷において最も頻度の高い死亡原因は重度の頭部損傷であると報告されている[59, 60]。先行研究と同様に、本研究でも主な死因は、重症頭頸部損傷であったと考えられる。また、重症であったにもかかわらず、半数以上の症例が緊急手術を行われていなかったことも考慮すると、緊急手術の適応がない致死的重症外傷であった可能性が示唆される。さらに、外傷の重症度に関しては、先行研究でのISSはHEMS群で9.2~14、GEMS群で6.7~9であり[56, 61]、本研究のほうが先行研究よりも重症な症例を対象としていた。

2つ目の理由として搬送先病院の選定に関する問題が挙げられる。HEMSによる搬送先病院選定のためのトライージ効果を日本の環境では発揮できなかった可能性がある[4]。HEMSは救急医療に精通している医師・看護師が担当しているため、GEMSのスタッフよりも、より患者に適した医療機関選定をすることが可能となる。もし、重症小児外傷を搬送する先として最適な病院が日本

でも指定されていたならば、HEMS は死亡の減少に対する効果を示せた可能性がある。北米では小児外傷を集約する先として小児外傷センターが認定されているが、そのような施設認定は日本にはない。多くの小児病院は重症外傷患者の初期診療に長けてはおらず、現場から直接重症患者を搬送する医療機関として選定されることは少ない。その一方で、救命救急センターが十分な小児科医のバックアップもないままに、重症小児外傷を受け入れていることもある [62]。このように、小児外傷センターのような適切な集約先病院がないことは、HEMS のトリアージ効果が発揮されにくい原因となりうる。サブグループ解析では、HEMS の搬送時間が長い群で死亡が少ない傾向があった。米国やヨーロッパの先行研究では、HEMS の現場から病院までの平均時間は 60 分程度であり [18, 63]、あまりに近距離の搬送では搬送時間短縮のメリットがないばかりか、逆に長くしてしまっている可能性もある。また、搬送中の状態悪化も短時間搬送では起こらず、メリットが見出しにくくなっているのかもしれない。こういった理由により搬送時間のサブグループで、死亡への影響の違いを生じた可能性がある。今後より搬送時間の長いサブグループを対象とした大規模な研究を行うことで HEMS の死亡の減少への影響を明らかにすることができる可能性がある。

本研究の強みは、年齢ごとに正常値を勘案して、正常値と異常値を分類している点である。バイタルサインは患者状態の増悪を早期に発見できる重要な因子であることは知られている [53, 64]。年齢区分ごとの正常値を用いて複数のバイタルサインを調整した研究はこれまで 1 つしかなく [18]、その他には心拍数のみ調整した研究が 1 つ報告されているだけである [21]。年齢ごとに調整したバイタルサインは治療とアウトカムを正しく推定するための共変量として重要である。

本研究の限界として、まずサンプルサイズの問題が挙げられる。有意ではな

かったものの HEMS 群で死亡が少なかった。HEMS と小児外傷の死亡との関連を示した先行研究と比較すると、今回の研究はサンプル数が少ない。従って、サンプルサイズが大きければ、異なる結果が得られる可能性がある。

第 2 に、現場から病院までの距離が HEMS の要請判断に影響を与えた可能性がある。データベースでは現場から病院までの距離の情報を収集していないため、距離の代用として我々は搬送時間で検討を行った。GEMS に比べて HEMS のほうが現場から病院までの経過時間が長かったのは、HEMS 群のほうが遠距離搬送であったことを反映している可能性がある。

第 3 に、日本では、前述のように救急隊員の医療行為が限定されるため、本研究の結果が日本以外にも当てはまるかどうかは不明である。また、重症外傷のない患者はデータベースの対象外である。

第 4 に、本研究はデータベースの性質上、患者の詳細情報の粒度が限られていることが挙げられる。

3.5 小括

日本の研究1よりも重症例を対象とした全国規模のデータベースを用いて、HEMS の介入が与える小児外傷患者の生命予後の改善性について検討した結果、GEMS と比較して HEMS による搬送は小児外傷患者の院内死亡の減少とは関連しなかった。搬送距離が長いサブグループでは死亡と関連がある可能性がある。HEMS が GEMS と比較して死亡の減少に有用であるか、または有用な患児群があるのかどうかを明らかにするにはさらなる研究が必要である。

3.6 图表

Figure 2-1

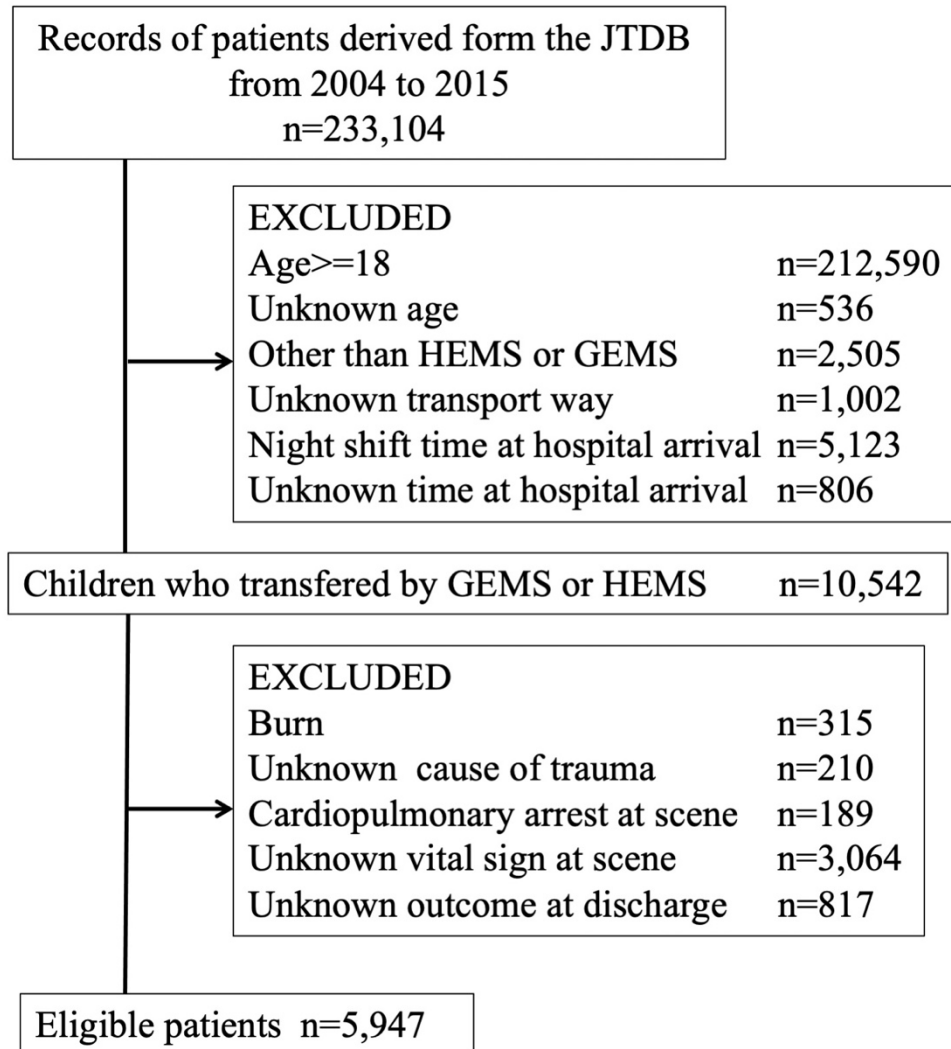


Table 2-1. Characteristics of children transported by emergency medical services.

Characteristics	HEMS n=453	GEMS n=5494	p-value
Age, mean (SD)	10.5 (4.7)	10.7 (4.5)	0.38
Age category, n (%)			0.10
Infants (0-1)	5 (1.1)	35 (0.6)	
Toddlers (1-2)	24 (5.3)	185 (3.4)	
Preschoolers (3-5)	36 (7.9)	464 (8.4)	
School-aged (6-9)	134 (29.6)	1631 (29.7)	
Preadolescents (10-12)	66 (14.6)	995 (18.1)	
Adolescents (13-17)	188 (41.5)	2184 (39.8)	
Sex (female), n (%)	125 (27.6)	1514 (27.6)	0.99
Incident Type, n (%)			<0.001
Blunt	445 (98.2)	5422 (98.7)	
Motor Vehicle	48 (10.6)	246 (4.5)	
Motorcycle	49 (10.8)	462 (8.4)	
Bicycle	110 (24.3)	1469 (26.7)	
Pedestrian	117 (25.8)	1151 (21.0)	
Fall	49 (10.8)	656 (11.9)	
Tumble	25 (5.5)	446 (8.1)	
Sport	24 (5.3)	523 (9.5)	
Other Blunt Injury	23 (5.1)	469 (8.5)	
Penetrating	8 (1.8)	72 (1.3)	
Prehospital SBP, n (%)			0.33
Normal	228 (50.3)	2944 (53.6)	
Hypotension	16 (3.5)	154 (2.8)	
Hypertension	209 (46.1)	2396 (43.6)	
Prehospital HR, n (%)			0.001
Normal	323 (71.3)	4323 (78.7)	
Bradycardia	9 (2.0)	76 (1.4)	
Tachycardia	121 (26.7)	1095 (19.9)	
Prehospital RR, n (%)			<0.001
Normal	213 (47.0)	3106 (56.5)	
Bradypnea	16 (3.5)	172 (3.1)	
Tachypnea	224 (49.4)	2216 (40.3)	
JCS category, n (%)			<0.001
Grade 0 (Alert)	130 (28.7)	2806 (51.1)	
Grade 1 (Distracted)	126 (27.8)	1500 (27.3)	
Grade 2 (Somnolence)	67 (14.8)	555 (10.1)	
Grade 3 (Coma)	93 (20.5)	467 (8.5)	
missing	37 (8.2)	166 (3.0)	
Head & Neck Injury, n (%)			<0.001
AIS < 3	242 (53.4)	3616 (65.8)	
AIS ≥ 3	211 (46.6)	1878 (34.2)	
unknown	0 (0)	0 (0)	
Chest Injury, n (%)			<0.001
AIS < 3	325 (71.7)	4674 (85.1)	
AIS ≥ 3	128 (28.3)	819 (14.9)	
unknown	0 (0)	1 (<0.1)	
Abdominal Injury, n (%)			0.15
AIS < 3	419 (92.5)	5170 (94.1)	
AIS ≥ 3	34 (7.5)	320 (5.8)	
unknown	0 (0)	4 (0.1)	

Extremities Injury, n (%)			0.29
AIS < 3	354 (78.1)	4173 (76.0)	
AIS ≥ 3	99 (21.9)	1321 (24.0)	
unknown	0 (0)	0 (0)	
ISS, median (interquartile ranges)	16 (9–25)	9(5–16)	<0.001
Emergency Surgery (Hospital arrival to surgery ≤ 3 hours), n (%)	54 (11.9)	564 (10.3)	0.27
Emergency Blood Transfusion (Hospital arrival to blood transfusion ≤ 2 hours), n (%)	15 (3.3)	84 (1.5)	0.004
Disposition after ED, n (%)			<0.001
ICU Admission	353 (77.9)	3347 (60.9)	
General Ward	88 (19.4)	1966 (35.8)	
death at ED	1 (0.2)	5 (0.1)	
Others	11 (2.4)	120 (2.2)	
Missing	0 (0)	56 (1.0)	
In-Hospital Mortality, n (%)	17 (3.8)	73 (1.3)	<0.001
Length of Hospital Stay, mean (SD)	20.0 (28.7)	17.0 (34.9)	0.08
Discharge to Home, n (%)	305 (67.3)	4625 (84.2)	<0.001
Time from call to a hospital, mean minutes (SD)	54.5 (19.5)	36.9 (15.0)	<0.001
Time from a scene to a hospital, mean minutes (SD)	25.7 (18.0)	15.3 (11.7)	<0.001
Time from Hospital Arrival to Surgery, mean hour (SD)	1.9 (0.7)	1.9 (0.7)	0.81
Time from Hospital Arrival to Blood Transfusion, mean hour (SD)	1.1 (0.5)	1.1 (0.6)	0.94

HEMS, helicopter emergency medical service; GEMS, ground emergency medical service; SD, standard deviation; SBP, systolic blood pressure; HR, heart rate; RR, respiratory rate; AIS, abbreviated injury scale; ISS, injury severity score; JSC, Japan Coma Scale; ED, emergency department; BPM, beat per minute for heart rate and breath per minute for respiration rate.

Table2-2. Characteristics of children who died at the hospital

Characteristics	HEMS n=17	GEMS n=73	p-value
Age, mean (SD)	12.7 (5.4)	11.2 (4.6)	0.25
Age category, n (%)			0.48
Infants (0-1)	0 (0)	1 (1)	
Toddlers (1-2)	2 (12)	4 (5)	
Preschoolers (3-5)	0 (0)	1 (1)	
School-aged (6-9)	2 (12)	24 (33)	
Preadolescents (10-12)	2 (12)	10 (14)	
Adolescents (13-17)	11 (65)	33 (45)	
Sex (female), n (%)	4 (24)	25 (34)	0.39
Incident Type, n (%)			0.18
Blunt	12 (100)	72 (99)	
Motor Vehicle	3 (18)	6 (8)	
Motorcycle	3 (18)	6 (8)	
Bicycle	5 (29)	13 (18)	
Pedestrian	1 (6)	18 (25)	
Fall	1 (6)	16 (22)	
Tumble	2 (12)	2 (3)	
Sport	2 (12)	7 (10)	
Other Blunt Injury	0 (0)	4 (5)	
Penetrating	0 (0)	1 (1)	
Prehospital SBP, n (%)			0.17
Normal	8 (47)	29 (40)	
Hypotension	0 (0)	13 (18)	
Hypertension	9 (53)	31 (42)	
Prehospital HR, n (%)			0.63
Normal	10 (59)	44 (60)	
Bradycardia	2 (12)	4 (5)	
Tachycardia	5 (29)	25 (34)	
Prehospital RR, n (%)			0.87
Normal	5 (29)	26 (36)	
Bradypnea	3 (18)	13 (18)	
Tachypnea	9 (53)	34 (47)	
JCS category, n (%)			0.47
Grade 0 (Alert)	2 (12)	4 (5)	
Grade 1 (Distracted)	1 (6)	5 (7)	
Grade 2 (Somnolence)	0 (0)	7 (10)	
Grade 3 (Coma)	12 (71)	54 (74)	
missing	2 (12)	3 (4)	

Head & Neck Injury, n (%)			0.11
AIS < 3	6 (35)	13 (18)	
AIS ≥ 3	11 (65)	60 (82)	
unknown	0 (0)	0 (0)	
Chest Injury, n (%)			0.58
AIS < 3	9 (53)	44 (60)	
AIS ≥ 3	8 (47)	29 (40)	
unknown	0 (0)	0 (0)	
Abdominal Injury, n (%)			0.15
AIS < 3	16 (94)	64 (88)	
AIS ≥ 3	1 (6)	9 (12)	
unknown	0 (0)	0 (0)	
Extremities Injury, n (%)			0.29
AIS < 3	15 (88)	56 (77)	
AIS ≥ 3	2 (12)	17 (23)	
unknown	0 (0)	0 (0)	
ISS, median (interquartile ranges)	38 (25–45)	26 (25–39.5)	0.24
Emergency Surgery (Hospital arrival to surgery ≤ 3 hours), n (%)	8 (47)	35 (48)	0.95
Emergency Blood Transfusion (Hospital arrival to blood transfusion ≤ 2 hours), n (%)	4 (24)	23 (32)	0.52
Time from call to a hospital, mean minutes (SD)	57.6 (19.3)	35.2 (13.9)	<0.001
Time from a scene to a hospital, mean minutes (SD)	22.3 (18.6)	15.9 (10.4)	0.070
Time from Hospital Arrival to Surgery, mean hour (SD)	1.6 (0.9)	1.4 (0.6)	0.37
Time from Hospital Arrival to Blood Transfusion, mean hour (SD)	0.9 (0.2)	0.8 (0.5)	0.74

HEMS, helicopter emergency medical service; GEMS, ground emergency medical service; SD, standard deviation; SBP, systolic blood pressure; HR, heart rate; RR, respiratory rate; AIS, abbreviated injury scale; ISS, injury severity score; JSC, Japan Coma Scale; ED, emergency department; mmHg, millimeters of mercury; bpm, beat per minute for heart rate and breath per minute for respiration rate.

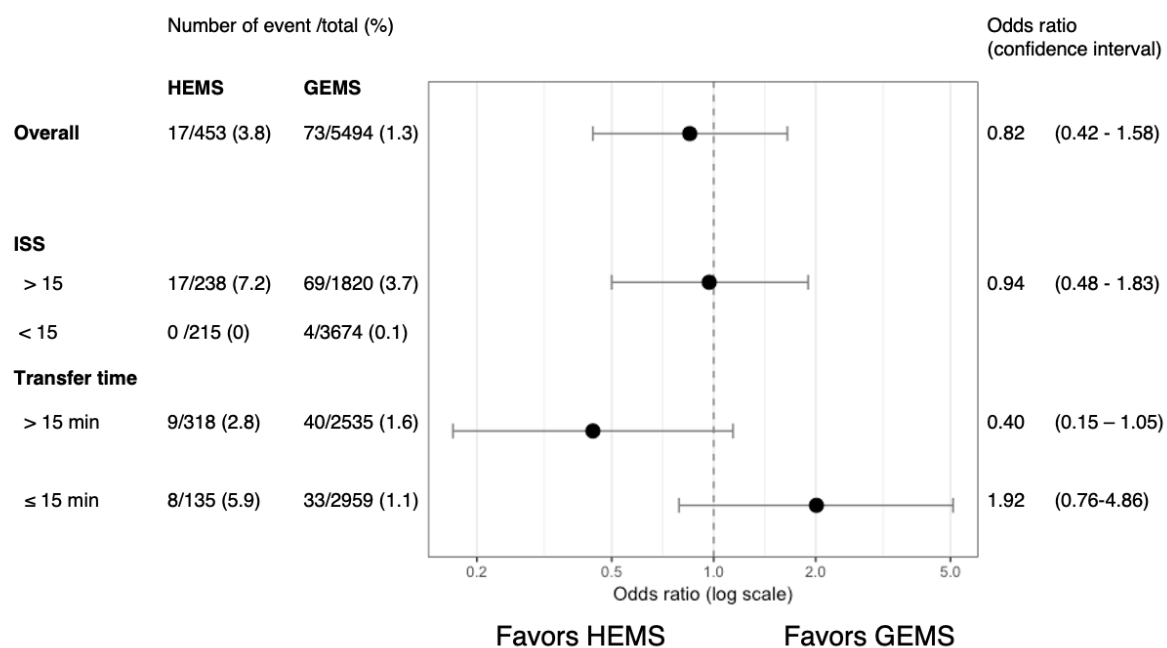
Table 2-3. Mean difference in length of hospital stay between those receiving helicopter or ground emergency medical services.

Outcomes	Number of observations	Mean difference (95%CI)	
Overall*	5,853	-1.49	(-4.94 to 1.97)
Subgroup analysis			
Injury Severity Score			
> 15	2,031	-4.52	(-9.18 to 0.14)
≤ 15	3,822	2.19	(-2.50 to 6.88)
Time from scene to hospital			
>15 minutes	2,800	-1.01	(-4.54 to 2.51)
≤ 15 minutes	3053	-0.09	(-8.28 to 8.11)

*Due to missing the length of hospital stay, 94 patients were excluded from the analysis.

CI: Confidence Interval

Fig 2-2. Odds ratios of in-hospital mortality between helicopter and ground emergency medical services.



HEMS, helicopter emergency medical service; GEMS, ground emergency medical service; ISS, injury severity score; CI, confidence interval.

Supplemental table. Vital signs categories by age group.

Age Groups	Hypertension (mmHg)	Hypotension (mmHg)	Tachycardia (bpm)	Bradycardia (bpm)	Tachypnea (bpm)	Bradypnea (bpm)
Infants (<1 yo)	104	$70+(2*\text{age})$	180	60	53	29
Toddlers (1–2 yo)	106	$70+(2*\text{age})$	140	60	37	21
Preschoolers (3–5 yo)	112	$70+(2*\text{age})$	120	60	28	19
School-Aged (6–9 yo)	115	$70+(2*\text{age})$	118	60	25	17
Preadolescents (10–12 yo)	120	90	118	60	25	17
Adolescents (13–17 yo)	131	90	100	60	20	11

bpm, beat per minute for heart rate and breath per minute for respiratory rate

第4章 総括

研究 1 では、茨城県ドクターヘリのデータベースを用いて、HEMS によって搬送される小児救急患者の重症度は低く、HEMS が診療した患者のなかに軽症が多く含まれていることを示した。また、比較的重症例に焦点をあてた全国規模のデータベースを用いた研究 2 では、HEMS と GEMS を比較して、小児外傷患者の院内死亡の減少に搬送手段は関連するとはいえないことを明らかにした。ただし、搬送距離が長いサブグループでは死亡への影響を示すことができる可能性がある。

一連の研究の結果として、1) オーバートリアージを適切な割合に収まるように救急隊への教育や運用の改善を図ることが必要であること。2) HEMS 要請基準に距離の要素を入れることが有用な可能性が示唆された。さらに患者要請基準の妥当性を検証し、モニタリングを続けて評価・検証することにより、限られた資源である HEMS をより有効に使うために必要であろう。HEMS の有用性や有用な患者群を明らかにするためには、さらなる大規模データによる解析が必要である。

第5章 今後の展望

日本では、小児集中治療や救命救急に関する知見は北米、ヨーロッパ、オーストラリアに比べると乏しい。搬送医療は統合された医療システムの一部として初めて機能するものである。重症小児を救命するための医療システム全体の整備を進めることが、搬送医療の効果をより引き出すことにもつながる。システム整備につながる研究として、搬送に加えて患者の受け入れ先、受け入れ後の管理についても研究を行う。特に近年、日本でも全国規模の集中治療室のデータベースが整備されており、PICU の質の適切さを評価する研究も行う予定である。

さらに、小児重症患者はもともと PICU を対象としても死亡割合が 2-3%と低い[65]、治療の質の評価のためのアウトカムとしては、死亡のみでなく、同時に合併症や後遺症に関する評価を行うことも必要である。その一つである神経学的指標として、せん妄、ICU-acquired weakness、Post intensive care syndrome などについての研究も行う予定である。

謝辞

本研究においてご指導を賜りました、筑波大学大学院 人間総合科学研究科 疾患制御医学専攻 救急・集中治療医学分野、井上貴昭教授に深謝いたします。また、常に適切なご示唆をいただきました、国立病院機構水戸医療センター 救急救命センター 安田貢先生、土谷飛鳥先生、堤悠介先生に深謝いたします。

そして、本研究の遂行、論文作成を通して多大なご支援を頂いた筑波大学附属病院救急・集中治療科 秘書 石井恵美氏に心より感謝の意を捧げます。

出典

1. 本学位論文では *Pediatric Emergency Care*. ahead of print, 2018 (doi.org/10.1097/PEC.0000000000001608) に掲載された論文の最終 peer-review の内容を Wolters Kluwer 社の規定に従って再利用している。
2. 本 学 位 論 文 で は *PLoS One*. 15:e0237192, 2020 (doi.org/10.1371/journal.pone.0237192) に掲載された論文の内容を、Public Library of Science 社の規定に従って再利用している。

引用文献

1. Galvagno SM, Jr. Comparative effectiveness of helicopter emergency medical services compared to ground emergency medical services. *Crit Care*. 2013;17:169.
2. Brown JB, Gestring ML, Guyette FX, Rosengart MR, Stassen NA, Forsythe RM, *et al*. Helicopter transport improves survival following injury in the absence of a time-saving advantage. *Surgery*. 2016;159:947–59.
3. Malekpour M, Younus JM, Jaap K, Neuhaus N, Widom K, Rapp M, *et al*. Mode of transport and clinical outcome in rural trauma: a helicopter versus ambulance comparison. *Am Surg*. 2017;83:1413–7.
4. Galvagno SM, Jr., Haut ER, Zafar SN, Millin MG, Efron DT, Koenig GJ, Jr., *et al*. Association between helicopter vs ground emergency medical services and survival for adults with major trauma. *JAMA*. 2012;307:1602–10.
5. Andruszkow H, Lefering R, Frink M, Mommsen P, Zeckey C, Rahe K, *et al*. Survival benefit of helicopter emergency medical services compared to ground emergency medical services in traumatized patients. *Critical Care*. 2013;17:R124–R.
6. Janssen DJ, Burns BJ. Experience of pre-hospital treatment of survivors of falls-related trauma by an Australian helicopter emergency medical service. *Injury*. 2013;44:624–8.
7. 4. 救急業務高度化の推進.
[<https://www.fdma.go.jp/publication/hakusho/h30/chapter2/section4/38902.html>]
8. 益子 邦. エアレスキュー・ドクターカー. 大阪府大阪市: 株式会社永井書店; 2009.
9. Graphic magazine of emergency medical network of helicopter and hospital vol.48.
[http://www.hemnet.jp/mt-img/file/48_web.pdf]
10. Abe T, Takahashi O, Saitoh D, Tokuda Y. Association between helicopter with physician versus ground emergency medical services and survival of adults with major trauma in Japan. *Crit Care*. 2014;18:R146.
11. Tsuchiya A, Tsutsumi Y, Yasunaga H. Outcomes after helicopter versus ground emergency medical services for major trauma—propensity score and instrumental variable analyses: a retrospective nationwide cohort study. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*. 2016;24:140.
12. 辻 聡, 池山 由, 阪井 裕. 厚生労働科学研究班資料による小児患者のヘリコプター搬送に関する実態調査報告. *日小児会誌*. 2010;114:995–1000.
13. 岩崎 卓, 有井 直, 馬場 洋, 有井 み, 大川 夏, 寒竹 正, *et al*. 小児患者に対するドクターヘリの利用状況. *日小児会誌*. 2018;122:1700–7.
14. Galvagno SM, Jr., Sikorski R, Hirshon JM, Floccare D, Stephens C, Beecher D, *et al*. Helicopter emergency medical services for adults with major trauma. *Cochrane Database*

Syst Rev. 2015;15:CD009228.

15. Bekelis K, Missios S, Mackenzie TA. Prehospital helicopter transport and survival of patients with traumatic brain injury. *Ann Surg.* 2015;261:579–85.
16. Moens D, Stipulante S, Donneau AF, Hartstein G, Pirotte O, D’Orio V, *et al.* Air versus ground transport of patients with acute myocardial infarction: experience in a rural-based helicopter medical service. *Eur J Emerg Med.* 2015;22:273–8.
17. Reiner-Deitemyer V, Teuschl Y, Matz K, Reiter M, Eckhardt R, Seyfang L, *et al.* Helicopter transport of stroke patients and its influence on thrombolysis rates: data from the Austrian Stroke Unit Registry. *Stroke.* 2011;42:1295–300.
18. Brown JB, Leeper CM, Sperry JL, Peitzman AB, Billiar TR, Gaines BA, *et al.* Helicopters and injured kids: improved survival with scene air medical transport in the pediatric trauma population. *J Trauma Acute Care Surg.* 2016;80:702–10.
19. Polites SF, Zielinski MD, Fahy AS, Wagie AE, Moir CR, Jenkins DH, *et al.* Mortality following helicopter versus ground transport of injured children. *Injury.* 2017;48:1000–5.
20. Englum BR, Rialon KL, Kim J, Shapiro ML, Scarborough JE, Rice HE, *et al.* Current use and outcomes of helicopter transport in pediatric trauma: a review of 18,291 transports. *J Pediatr Surg.* 2017;52:140–4.
21. Stewart CL, Metzger RR, Pyle L, Darmofal J, Scaife E, Moulton SL. Helicopter versus ground emergency medical services for the transportation of traumatically injured children. *J Pediatr Surg.* 2015;50:347–52.
22. Krebs MG, Fletcher EN, Werman H, McKenzie LB. Characteristics of nontrauma scene flights for air medical transport. *Air Med J.* 2014;33:320–5.
23. Barker CL, Weatherall AD. Prehospital paediatric emergencies treated by an Australian helicopter emergency medical service. *Eur J Emerg Med.* 2014;21:130–5.
24. Galazkowski R, Celinski D, Szarpak L. Analysis of interventions of polish helicopter emergency medical service in pediatric patients due to poisoning. *Am J Emerg Med.* 2017;35:1019–20.
25. Knofsky M, Burns JB, Jr., Chesire D, Tepas JJ, Kerwin AJ. Pediatric trauma patients are more likely to be discharged from the emergency department after arrival by helicopter emergency medical services. *J Trauma Acute Care Surg.* 2013;74:917–20.
26. Taylor C, Jan S, Curtis K, Tzannes A, Li Q, Palmer C, *et al.* The cost-effectiveness of physician staffed Helicopter Emergency Medical Service (HEMS) transport to a major trauma centre in NSW, Australia. *Injury.* 2012;43:1843–9.
27. Brändström H, Winsö O, Lindholm L, Haney M. Regional intensive care transports: a prospective analysis of distance, time and cost for road, helicopter and fixed-wing ambulances. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med.* 2014;22:36.

28. Schuster M, Pints M, Fiege M. Duration of mission time in prehospital emergency medicine: effects of emergency severity and physicians level of education. *Emerg Med J*. 2010;27:398-403.
29. 第7次茨城県保健医療計画.
[https://www.pref.ibaraki.jp/hokenfukushi/iryo/keikaku/koso/health-med-plan/documents/02_1syoun.pdf]
30. Greenspan L, Mclellan BA, Greig H. Abbreviated Injury Scale and Injury Severity Score – a Scoring Chart. *Journal of Trauma-Injury Infection and Critical Care*. 1985;25:60-4.
31. Baker SP, O'Neill B, Haddon W, Long WB. The Injury Severity Score. *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care*. 1974;14:187-96.
32. 日本外傷学会トラウマレジストリー検討委員会. AIS 2005 Update 2008 日本語対訳版. 東京都: 株式会社 へるす出版; 2017.
33. Williams K, Thomson D, Seto I, Contopoulos-Ioannidis DG, Ioannidis JPA, Curtis S, *et al*. Standard 6: Age Groups for Pediatric Trials. *Pediatrics*. 2012;129:S153-S60.
34. Michailidou M, Goldstein SD, Salazar J, Aboagye J, Stewart D, Efron D, *et al*. Helicopter overtriage in pediatric trauma. *J Pediatr Surg*. 2014;49:1673-7.
35. Larson JT, Dietrich AM, Abdessalam SF, Werman HA. Effective use of the air ambulance for pediatric trauma. *J Trauma*. 2004;56:89-93.
36. Committee on trauma Acos. Resources for optimal care of the injured patient; 2014.
37. 山下 寿, 古賀 仁, 矢野 和, 瀧 健, 島 弘. 高齢者救急の救急搬送の増加問題とその対応策 ―特に救急車の有料化について―. *日臨救医誌*. 2016;19:1-6.
38. ドクターヘリ運航費用の負担の多様化に関する有識者懇談会報告書.
[https://hemnet.jp/post_252]
39. Tilford JM, Simpson PM, Green JW, Lensing S, Fiser DH. Volume–Outcome Relationships in Pediatric Intensive Care Units. *Pediatrics*. 2000;106:289-94.
40. Peltoniemi OM, Rautiainen P, Kataja J, Ala-Kokko T. Pediatric Intensive Care in PICUs and Adult ICUs: A 2-Year Cohort Study in Finland. *Pediatr Crit Care Med*. 2016;17:e43-e9.
41. Markovitz BP, Kukuyeva I, Soto-Campos G, Khemani RG. PICU volume and outcome: A severity-adjusted analysis. *Pediatr Crit Care Med*. 2016;17:483-9.
42. Oyetunji TA, Haider AH, Downing SR, Bolorunduro OB, Efron DT, Haut ER, *et al*. Treatment outcomes of injured children at adult level 1 trauma centers: are there benefits from added specialized care? *Am J Surg*. 2011;201:445-9.
43. Webman RB, Carter EA, Mittal S, Wang J, Sathya C, Nathens AB, *et al*. Association Between Trauma Center Type and Mortality Among Injured Adolescent Patients. *JAMA Pediatr*. 2016;170:780-6.

44. Walther AE, Falcone RA, Pritts TA, Hanseman DJ, Robinson BR. Pediatric and adult trauma centers differ in evaluation, treatment, and outcomes for severely injured adolescents. *J Pediatr Surg.* 2016;51:1346–50.
45. Sathya C, Alali AS, Wales PW, Scales DC, Karanicolas PJ, Burd RS, *et al.* Mortality Among Injured Children Treated at Different Trauma Center Types. *JAMA Surg.* 2015;150:874–81.
46. Davidson JE, Aslakson RA, Long AC, Puntillo KA, Kross EK, Hart J, *et al.* Guidelines for Family-Centered Care in the Neonatal, Pediatric, and Adult ICU. *Crit Care Med.* 2017;45:103–28.
47. Zebrack M, Dandoy C, Hansen K, Scaife E, Mann NC, Bratton SL. Early resuscitation of children with moderate-to-severe traumatic brain injury. *Pediatrics.* 2009;124:56–64.
48. Newgard CD, Rudser K, Atkins DL, Berg R, Osmond MH, Bulger EM, *et al.* The availability and use of out-of-hospital physiologic information to identify high-risk injured children in a multisite, population-based cohort. *Prehosp Emerg Care.* 2009;13:420–31.
49. Garner AA, Lee A, Weatherall A, Langcake M, Balogh ZJ. Physician staffed helicopter emergency medical service case identification – a before and after study in children. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med.* 2016;24:92.
50. 全国救命救急センター設置状況. [<https://www.jaam.jp/about/shisetsu/qq-center.html>]
51. 救命救急センターの現状. [<https://www.mhlw.go.jp/stf/shingi/2r9852000002xuhe-att/2r9852000002xumn.pdf>]
52. Japan Trauma Data Bank Report 2018 (2013–2017). [<https://www.itcr-jatec.org/traumabank/dataroom/data/JTDB2018e.pdf>]
53. Heart AA. Pediatric Advanced Life Support, 1sted. Dallas, TX: American Heart Association Inc; Professional Edition; 2017.
54. Yagi T, Saito N, Hara Y, Matumoto HH, Mashiko K. Japan Coma Scale used in the prehospital setting can predict clinical outcome in severe pediatric trauma. *Critical Care.* 2013;17:P324.
55. Yamagami K, Kurogi R, Kurogi A, Nishimura K, Onozuka D, Ren N, *et al.* The Influence of Age on the Outcomes of Traumatic Brain Injury: Findings from a Japanese Nationwide Survey (J-ASPECT Study–Traumatic Brain Injury). *World Neurosurg.* 2019;130:e26–e46.
56. Farach SM, Walford NE, Bendure L, Amankwah EK, Danielson PD, Chandler NM. Helicopter transport from the scene of injury: are there improved outcomes for pediatric trauma patients? *Pediatr Emerg Care.* 2018;34:344–8.
57. Sato T, Matsuyama Y. Marginal structural models as a tool for standardization.

- Epidemiology. 2003;14:680–6.
58. Brookhart MA, Wyss R, Layton JB, Sturmer T. Propensity score methods for confounding control in nonexperimental research. *Circ Cardiovasc Qual Outcomes*. 2013;6:604–11.
 59. Osmond MH, Brennan-Barnes M, Shephard AL. A 4-year review of severe pediatric trauma in eastern Ontario: a descriptive analysis. *J Trauma*. 2002;52:8–12.
 60. Ponsky TA, Eichelberger MR, Cardozo E, Huang ZJ, Pratsch GL, Thuma-Croom SE, *et al*. Analysis of head injury admission trends in an urban American pediatric trauma center. *J Trauma*. 2005;59:1292–7.
 61. Moront ML, Gotschall CS, Eichelberger MR. Helicopter transport of injured children: system effectiveness and triage criteria. *J Pediatr Surg*. 1996;31:1183–8.
 62. Enomoto Y, Tsuchiya A, Tsutsumi Y, Kikuchi H, Ishigami K, Osone J, *et al*. Characteristics of children cared for by a physician-staffed helicopter emergency medical service. *Pediatr Emerg Care*. 2018;ahead of print.
 63. Pakkanen T, Kamarainen A, Huhtala H, Silfvast T, Nurmi J, Virkkunen I, *et al*. Physician-staffed helicopter emergency medical service has a beneficial impact on the incidence of prehospital hypoxia and secured airways on patients with severe traumatic brain injury. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*. 2017;25:94.
 64. Akre M, Finkelstein M, Erickson M, Liu M, Vanderbilt L, Billman G. Sensitivity of the pediatric early warning score to identify patient deterioration. *Pediatrics*. 2010;125:e763–9.
 65. Ishihara T, Tanaka H. Causes of death in critically ill paediatric patients in Japan: a retrospective multicentre cohort study. *BMJ Paediatrics Open*. 2019;3:e000499.