

回復期リハビリテーション病棟における脳卒中片麻痺患者の平地歩行自立予測モデルの構築—ノモグラムを用いた検討—

Development of a Nomogram-dependent Model to Predict Time Required to Reestablish Independent Walking on Level Ground in Stroke Patients with Hemiplegia in a Convalescent Rehabilitation Ward

池上滉一* 船引啓祐* 中谷友哉*

Koichi Ikeue

Keisuke Funabiki

Yuya Nakatani

田中裕規* 虎津 裕* 餅 脩佑*

Hiroki Tanaka

Hiroshi Toratsu

Shusuke Mochi

Abstract

Objective : To develop a nomogram-based model for predicting the time required to reestablish independent walking on level ground in stroke patients with hemiplegia admitted to a convalescent rehabilitation ward, based on available information at admission.

Methods : This retrospective study included 228 patients with stroke-induced hemiplegia who were admitted to the convalescent rehabilitation ward of our hospital. The assessed outcome was the proportion of patients who achieved independent walking at 30, 60, 90, and 120 days after stroke onset. Candidate predictors at admission included age, sex, stroke type, side of paresis, number of days from onset to admission, ability to get up, lower extremity Fugl-Meyer Assessment (FMA), Berg Balance Scale (BBS) score, and total motor and cognitive Functional Independence Measure (FIM) scores. Cox proportional hazards analysis was used to identify significant predictors, and a nomogram was developed.

Results : The multivariate analysis identified age, number of days from onset, ability to get up, BBS score, and total FIM motor and cognitive scores as significant predictors. The nomogram demonstrated high predictive performance (C-index : 0.858 ; bootstrap : 0.851) with good calibration.

Conclusion : This model may assist clinicians in estimating the probability of achieving independent walking on level ground at 30, 60, 90, and 120 days after stroke onset, supporting early goal setting and individualized rehabilitation planning.

要 旨

目的：回復期リハビリテーション病棟に入棟した脳卒中片麻痺患者の入棟時情報から、平地歩行自立時期を予測するノモグラムモデルを作成すること。

2025年7月8日受付, 2025年9月1日受理, 2025年10月22日J-STAGE 早期公開

* 社会医療法人三栄会ツカザキ病院リハビリテーション科 (〒671-1227 兵庫県姫路市網干区和久 68-1)

Department of Rehabilitation, Tsukazaki Hospital, Social Medical Corporation Saneikai

【連絡先】〒671-1227 兵庫県姫路市網干区和久 68-1 社会医療法人三栄会ツカザキ病院リハビリテーション科 池上滉一

E-mail : rphfz014@yahoo.co.jp

DOI : 10.2490/jjrmc.25020



方法：対象は当院回復期病棟に入棟した脳卒中片麻痺患者 228 名とした。発症 30, 60, 90, 120 日の平地歩行自立獲得をアウトカムとし、入棟時の年齢、性別、病型、麻痺側、発症後日数、起き上がり能力、Fugl-Meyer Assessment (FMA) 下肢運動項目、Berg Balance Scale (BBS)、Functional Independence Measure (FIM) 運動・認知項目を独立変数として Cox 比例ハザード分析を行い、ノモグラムを構築した。

結果：多変量解析により、年齢、発症後日数、起き上がり能力、BBS、FIM 運動・認知項目が有意な予測因子として抽出され、C-index は 0.858 (ブートストラップ 0.851) と高く、キャリブレーションも良好であった。

結論：本モデルにより、発症 30, 60, 90, 120 日における平地歩行自立獲得率を高精度に予測でき、早期の目標設定や個別リハビリテーション計画の支援が可能となる。

Key Words

脳卒中片麻痺 (stroke hemiplegia) / 回復期リハビリテーション病棟 (convalescent rehabilitation ward) / 歩行自立予測 (prediction of walking independence) / ノモグラム (nomogram) / Cox 比例ハザードモデル (Cox proportional hazards model)

はじめに

厚生労働省の 2022 年の調査によれば、脳血管疾患は日本人の死因第 4 位を占めており¹⁾、2023 年の患者調査では、脳血管疾患により医療機関で治療を受けている総患者数は 188 万 4,000 人と、2020 年の前回調査から約 14 万人増加している²⁾。依然として脳卒中は高い罹患率と有病率を示しており、発症後の後遺症に対するリハビリテーション治療の重要性は、今後ますます高まると考えられる。

脳卒中後の後遺症の中でも、歩行障害は移動能力や日常生活動作 (activities of daily living : ADL) に大きな制約をもたらし、自立生活の再獲得における主要なリハビリテーション治療目標である^{3, 4)}。とりわけ、退院先の決定や退院時期の判断においては、平地歩行自立時期の予測が極めて重要であり、臨床では簡便かつ統計的根拠をもった予測ツールが求められている^{5, 6)}。

平地歩行自立に関する予測因子としては、年齢^{5, 7-9)}、麻痺側下肢運動機能⁵⁻¹¹⁾、体幹機能^{8, 11-13)}、バランス能力^{5, 12-14)}、ADL 能力^{6, 7, 15)}、認知機能^{8, 13, 15)} など、多様な因子の関与が報告されている。実際の臨床では、これらの正負の因子

を複合的に有する症例が多く、予後の個別の見立ては煩雑になりやすい。

このような中、近年注目されているのが、複数の予測因子を統合して個別症例の予後を推定する臨床予測ルール (Clinical Prediction Rule : CPR) である¹⁶⁾。CPR は、臨床で容易に取得できる変数を組み合わせ、診断や予後の意思決定を支援する統計的手法であり¹⁷⁾、その有効性は理学療法領域でも報告が増加している。CPR を開発する際は、過学習やモデルバイアスを避けるため、モデル性能の検証と妥当性評価が必須である¹⁸⁻²⁰⁾。

回復期リハビリテーション病棟において、平地歩行自立可否を対象とした CPR に関する報告は散見されるが^{6, 8, 12, 13, 15)}、歩行自立に至るまでの時期に着目し、かつその妥当性まで検証した研究は極めて限られている。また、現場で容易に使用可能な評価項目を用いた予測モデルの実用化は、いまだ十分とはいえない。

そこで本研究では、歩行予後予測ツールとしてのノモグラムモデルに着目した。ノモグラムは、複数の予測因子とその寄与度を視覚化し、個別患者の予後確率を簡便に算出できるツールである²¹⁾。先行研究でも、診断や予後予測の場面でその有用性が報告されており²¹⁻²⁴⁾、臨床判断支援ツール

としての展開が期待されている。

既存の脳卒中後歩行予後予測研究の多くは、退院時や発症後一定時点での平地歩行自立可否判定を目的としている。例えば海外では、発症1週時点の年齢・麻痺側下肢機能・体幹機能・バランス能力を用いた TWIST モデル^{5, 11)}が報告されているが、急性期評価を前提としており、回復期病棟入棟時からの予測には適用できない。経過に応じた平地歩行自立確率を複数時点で示す報告は少なく、さらに予測因子を組み合わせた数理モデルを可視化し、臨床で即時活用可能な研究も限られている。

そこで本研究では、回復期リハビリテーション病棟に入棟した脳卒中片麻痺患者を対象に、入棟時の汎用的評価項目のみを用いて発症30, 60, 90, 120日後の平地歩行自立確率を時系列で予測するノモグラムモデルを構築し、その予測精度と妥当性を検証することを目的とした。これにより、入棟時点から歩行予後の見通しを明確にし、患者・家族・医療チームが共有することで、リハビリテーション治療の個別目標設定や退院支援を支援するツールとなることが期待される。

対象と方法

1. 対象者

本研究は後ろ向き調査である。本研究では、Functional Independence Measure (FIM) 歩行項目スコア6点以上（修正自立を含む）を「平地歩行自立」と定義し、以下「平地歩行自立」という場合はこの定義を指すこととする。2020年1月から2024年12月までに、社会医療法人三栄会ツカザキ病院（以下、当院）の回復期リハビリテーション病棟に入棟した初発脳卒中片麻痺患者のうち、入院前歩行・日常生活動作が自立しており（modified Rankin Scaleが2以下）、入棟時FIM下位項目「歩行」が5点以下の患者を対象

とし、その中から、他疾患合併・再発等により当院急性期病棟へ転棟した4例、1週間以内に早期退院した5例、回復期リハビリテーション病棟へ転院した6例、データ欠損4例を除外して228名とした。なお、早期退院および転院例は十分な評価期間を確保できず、平地歩行自立の時期やリハビリテーション治療量が定性的に異なる可能性があるため、アウトカム判定が困難と判断し除外した。また、データ欠損例も主要評価項目に欠測があり解析上除外した。

2. 評価項目

本研究は対象者の電子カルテから基本情報、リハビリテーション評価を後方視的に調査した。

基本情報として、年齢、性別、病型（脳梗塞または脳出血）、麻痺側、および発症日から回復期リハビリテーション病棟に入棟した日までの期間（以下、発症後日数）を記録した。対象者は当院急性期病棟でのリハビリテーション治療終了後に回復期病棟へ転棟しており、転棟時には離床可能例や一部歩行可能例を含む。急性期での治療内容や活動量の詳細記録は得られなかったが、本研究では発症後日数を共変量として投入し、入棟時までの回復経過の差を統計的に一定程度調整している。

リハビリテーション評価の独立変数の採用にあたって、先行研究上、アウトカムである平地歩行自立に対し、単独因子でも判別能が高い因子を優先して採用した。入棟時評価項目として、体幹機能^{8, 11-13)}を反映する起き上がり動作能力、下肢運動機能⁵⁻¹¹⁾を反映するFugl-Meyer Assessment (FMA) 下肢運動項目、バランス能力^{5, 12-14)}を反映するBerg Balance Scale (BBS)、ADL能力^{6, 7, 15)}を反映するFIM運動項目合計、認知機能^{8, 13, 15)}を反映するFIM認知項目合計を用いた。起き上がり動作能力は、日常生活機能評価表の起き上が

表1 対象者の基本情報および回復期リハビリテーション病棟入棟時評価

	全体 (n=228)	最終観察時点で平地歩行自立 (n=116)	最終観察時点で平地歩行非自立 (n=112)
年齢 (歳)	73.7±11.9	69.4±12.3	78.2±9.7
性別 (名)	男:118, 女:110	男:60, 女:56	男:58, 女:54
病型 (名)	脳梗塞:162 脳出血:66	脳梗塞:80 脳出血:36	脳梗塞:82 脳出血:30
麻痺側 (名)	右:129, 左:99	右:71, 左:45	右:58, 左:54
発症後日数 (日)	18.4±11.4	16.4±6.3	20.5±14.8
起き上がり能力 (名)	介助なし:128 介助あり:100	介助なし:95 介助あり:21	介助なし:33 介助あり:79
FMA 下肢運動項目 (点)	21.4±10.7	25.2±8.8	17.5±11.2
BBS (点)	21.7±18.8	31.9±16.3	11.2±15.0
FIM 歩行 (点)	1.9±1.3	2.1±1.5	1.6±1.1
FIM 運動項目合計 (点)	38.7±17.4	48.7±14.9	28.3±13.3
FIM 認知項目合計 (点)	21.5±8.4	26.5±6.2	16.3±7.2
FIM 総合計 (点)	60.1±23.3	75.2±17.8	44.5±17.4
在棟日数期間 (日)	66.2±31.7	57.4±29.9	75.3±31.2
発症日から平地歩行自立 までの期間 (日)	—	52.0±29.3	—

平均値±標準偏差, もしくは例数. 最終観察時点: 退院日または発症 140 日経過時点のいずれか早い時点を指す.
FMA: Fugl-Meyer Assessment, BBS: Berg Balance Scale, FIM: Functional Independence Measure.

りの項目²⁵⁾を参考に, 採点した. ベッド上で仰臥位から上半身を起こし座位姿勢になる動作を定義とし, ベッド柵やバー等の使用の有無に関わらず, 1人で可能であれば, 「介助なし (ダミー変数:1)」と判定した. 介助を要する場合は, 「介助あり (ダミー変数:0)」とした. なお, 本研究は後ろ向き調査であるが, 対象期間を通じて当院では評価方法の標準化と精度向上のための手順が日常業務として整備されており, 評価者間で判定基準を共有する仕組みが運用されていた. また, 年1回以上の院内研修会で評価基準の確認が行われており, これらの既存体制により評価の一貫性と再現性が担保されていた. さらに, 入棟時のFIM歩行項目スコア・FIM総合計スコア, 在棟日数期間も記録した. これらの項目 (表1)は, 理学療法士または作業療法士が実施した.

本研究のアウトカムは, 発症から平地歩行自立に至るまでの時期とし, タイムポイントは, 発症

30, 60, 90, 120日とした. 最終観察時点は退院日または発症140日経過時点のいずれか早い時点とした. このため, 発症から140日未満で退院した症例については, その退院時点での平地歩行自立状況を記録した. 平地歩行自立の判定においては, 各対象者の病棟廊下歩行に加えて, 自室内移動・方向転換, 歩行補助具・装具の適正な位置設定・管理, 病棟生活活動に付随して必要となる動作 (自室カーテンやトイレドアの開閉) を評価項目とし, 最低でも3日間の評価期間を設けた. 評価期間中, 各評価項目の動作が安定している場合に平地歩行自立と評価し, さらにその評価結果をもとに担当理学療法士, 作業療法士および看護師が協議し歩行自立かどうか決定した. この判定には, 歩行補助具および装具の使用の有無は問わなかった.

なお, 本研究の対象病棟では, 脳卒中片麻痺患者に対して, 理学療法, 作業療法, 言語療法を毎

日（365 日），計 7～9 単位実施しており，対象者にも原則として同様のリハビリテーション治療が提供された。

3. 統計解析

はじめに，追跡期間中の平地歩行自立獲得率を Kaplan-Meier 曲線にて評価した。

次に，発症から平地歩行自立に至るまでの日数を従属変数，各検証項目を独立変数とし，単変量または多変量 Cox 比例ハザード分析を行い，平地歩行自立の予測因子を抽出した。Cox 比例ハザード分析においては，先行研究²³⁾に準じて，単変量解析（ $p<0.10$ ）で有意差が得られた変数のみ，多変量解析（ $p<0.05$ ）を行った。また，多変量解析に投入する変数間の多重共線性を確認するため，Variance Inflation Factor（VIF）を算出した。その結果，すべての変数で VIF は 3.90 以下であり，多重共線性による影響は軽微であると判断した。また，Cox 比例ハザードモデルの前提条件である比例ハザード性（PH 仮定）については，Schoenfeld 残差を用いた検定（R の survival パッケージ *cox.zph* 関数）により確認した。得られた予測因子を使用したノモグラムモデルを作成し，モデルの予測能力を Concordance index を用いて検証した。

さらに本研究では，予測モデルの内的妥当性検証を行うために，先行研究^{21, 24)}を参考に，ブートストラップ法を用いた。本研究の元標本からリサンプリングして得られた 1,000 組のブートストラップ標本を用いてキャリブレーションプロットを描出し，ノモグラムの予測値と実測値の比較を行った。合わせて，Concordance index，予測誤差の指標である Mean Absolute Error（MAE），Observation/Expected Ratio（O/E 比），Calibration Intercept，Calibration Slope を算出し，予測モデルの予測精度とキャリブレーションを検証した。

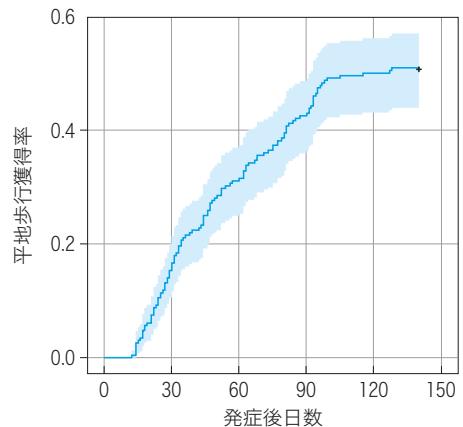


図 1 平地歩行自立獲得率の Kaplan-Meier 曲線

統計ソフトは R ver 4.4.0 を使用した。

4. 倫理的配慮

本研究は後ろ向き観察研究であり，当院の回復期リハビリテーション病棟に入棟した患者の診療録情報を匿名化して使用した。対象患者に対しては，入院時に診療録等の匿名化データを研究目的で利用する可能性について説明し，文書による包括同意を得ている。研究はヘルシンキ宣言の趣旨に則り，ツカザキ病院倫理審査委員会の承認（承認番号：2506003）を得て実施した。

結果

1. 対象者の基本情報と各評価結果

対象者の基本情報と回復期リハビリテーション病棟入棟時評価の結果を表 1 に示す。在棟日数期間の平均は 66.2 ± 31.7 日であった。本研究の追跡は発症から最大 140 日までとし，早期退院・転院例やデータ欠損例は除外した。最終観察時点で平地歩行自立に至った患者は 116 名（50.9%），至らなかった患者は 112 名（49.1%）であった。発症 30，60，90，120 日後の平地歩行獲得率は，それぞれ 16.7%，31.6%，43.0%，50.9%であり，図 1 に示す Kaplan-Meier 曲線からは，発症後 90 日

表 2 Cox 比例ハザード分析結果

	単変量 HR (95% CI)	p 値	多変量 HR (95% CI)	p 値
年齢	0.965 (0.952-0.978)	<0.001	0.974 (0.958-0.991)	<0.01
性別	0.973 (0.676-1.400)	0.882		
病型	0.932 (0.629-1.381)	0.726		
麻痺側	1.313 (0.904-1.908)	0.153		
発症後日数	0.969 (0.946-0.992)	<0.001	0.966 (0.937-0.997)	<0.05
起き上がり能力	6.298 (3.911-10.140)	<0.001	1.912 (1.117-3.274)	<0.05
FMA 下肢運動項目	1.066 (1.043-1.089)	<0.001	1.002 (0.975-1.030)	0.868
BBS	1.053 (1.042-1.064)	<0.001	1.031 (1.015-1.048)	<0.001
FIM 運動項目合計	1.060 (1.049-1.071)	<0.001	1.024 (1.008-1.040)	<0.01
FIM 認知項目合計	1.129 (1.099-1.160)	<0.001	1.079 (1.047-1.113)	<0.001

HR : Hazard ratio, CI : Confidence interval, FMA : Fugl-Meyer Assessment, BBS : Berg Balance Scale, FIM : Functional Independence Measure

以降の自立率上昇が緩徐になる傾向が確認された。

2. Cox 比例ハザード分析結果とノモグラムモデル作成

表 2 に示す Cox 比例ハザード分析の結果より、単変量解析では、年齢、発症後日数、起き上がり能力、FMA 下肢運動項目、BBS、FIM 運動項目合計、FIM 認知項目合計がいずれも有意な予測因子であった ($p<0.001$)。多変量解析に投入する変数間の多重共線性を確認するため、VIF を算出した結果、年齢 1.07、発症後日数 1.06、起き上がり能力 2.09、BBS 2.88、FIM 運動項目合計 3.90、FIM 認知項目合計 1.64 であり、いずれも VIF が 10 未満であったことから、多重共線性の影響は認められなかった。多変量解析では、年齢、発症後日数、起き上がり能力、BBS、FIM 運動項目合計、FIM 認知項目合計が、平地歩行自立確率を予測する有意な因子であった (発症後日数・起き上がり能力は $p<0.05$ 、年齢・FIM 運動項目合計は $p<0.01$ 、BBS・FIM 認知項目合計は $p<0.001$)。これらの予測因子をもとに構築したノモグラムモデル (図 2) は、各因子の寄与度を視覚的に示し、合算得点により 30~120 日の歩行自

立確率を簡便に予測できる設計となっている。

3. ブートストラップ標本を用いた内的妥当性検証

ブートストラップ標本を用いたキャリブレーションプロットを図 3 に示す。予測値と実測値の一致は良好であり、ノモグラムの予測性能は妥当と判断された。ノモグラムモデルの Concordance index とブートストラップ法による内的妥当性検証結果を表 3 に示す。表 3 のとおり、Concordance index は元標本で 0.858、ブートストラップ標本で 0.851 と高値を示し、モデルの判別性能は優れていた。また MAE は 0.022、O/E 比は 1.040、Calibration Intercept は 0.038、Calibration Slope は 0.962 であり、予測精度およびキャリブレーションの良好さが確認された。

考察

1. ノモグラムモデルによる歩行自立予測の意義

本研究は、回復期リハビリテーション病棟に入棟した脳卒中片麻痺患者を対象に、入棟時の汎用的評価項目のみから、発症 30、60、90、120 日後

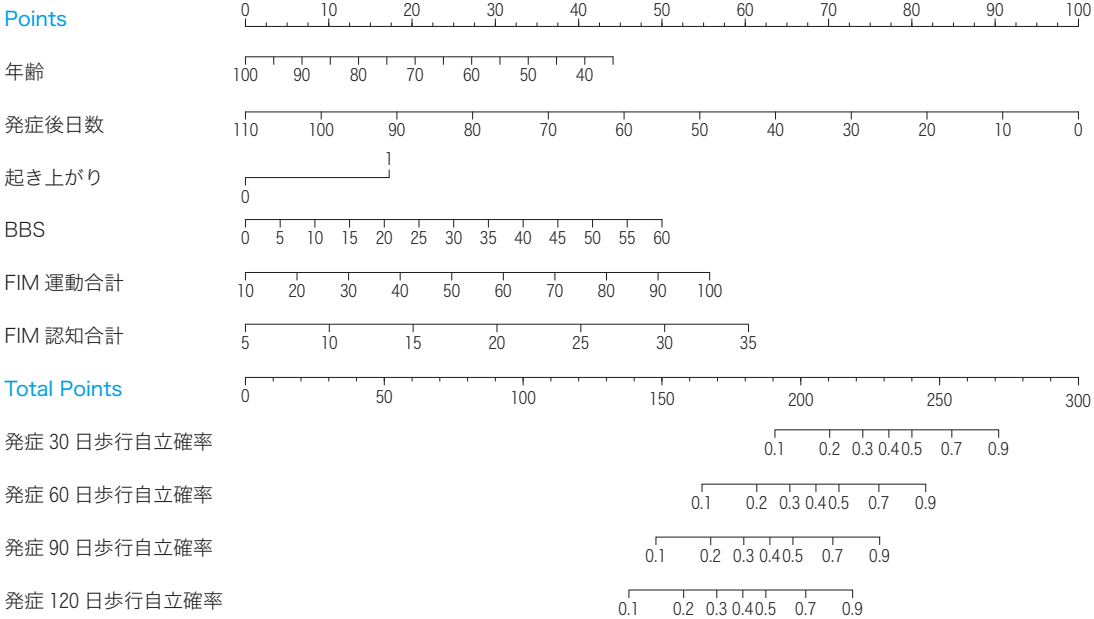


図2 ノモグラムモデル

ノモグラムは、各予測変数のスケール上に患者情報をプロットして使用される。各スケール上のプロット位置から、「Points」軸まで垂線を引き、その交差した目盛りを確認する。例えばBBSが23点であれば、約20ポイントに相当する。得られた各予測変数のポイントを合計する。得られた合計ポイントを「Total points」のスケール上にプロットする。プロット位置から、「発症 30、60、90、120 日歩行自立確率」軸まで垂線を引き、その交差した目盛りを確認することで、時期別での平地歩行自立確率を求めることができる。例えば合計点が203ポイントであれば、プロット位置から引いた垂線は、発症120日歩行自立確率の軸上の0.7に交差することから、発症120日時点での平地歩行自立確率はおよそ70%と予測できる。

※補足：このモデルは発症120日までの予測を対象とし、それ以降の回復可能性を否定するものではない。また、平地歩行自立以外の機能回復（起居動作、排泄、短距離移動など）は予測対象に含まれていないため、包括的な機能評価は別途行うべきである。

BBS：Berg Balance Scale, FIM：Functional Independence Measure

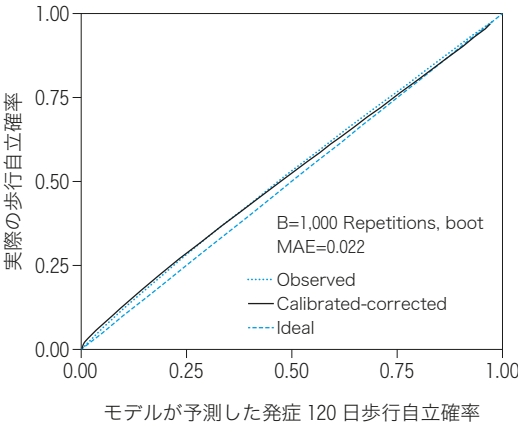


図3 ブートストラップ標本を用いたキャリブレーションプロット

MAE：Mean Absolute Error

表3 ノモグラムモデルの内的妥当性検証

Concordance index（元標本）	0.858
Concordance index （1,000組のブートストラップ標本）	0.851
MAE	0.022
O/E 比	1.040
Calibration Intercept	0.038
Calibration Slope	0.962

MAE：Mean Absolute Error, O/E 比：Observation/Expected Ratio

の平地歩行自立確率を時系列で予測できるノモグラムモデルを初めて構築・検証した点に新規性がある。従来の研究が単一時点での歩行自立可否判定にとどまっていたのに対し、本研究では回復過程を経時的に数値化し、臨床的に活用可能な予後予測ツールを提示した。その結果、年齢、発症後日数、起き上がり能力、BBS、FIM 運動項目合計、FIM 認知項目合計が主要な予測因子として抽出され、これらを組み合わせることで平地歩行自立の見通しを定量的に推定できることが明らかとなった。本モデルは、臨床現場における目標設定や治療計画の立案を支援する実用的な意義を有している。

2. ノモグラムモデルの臨床応用と解釈上の留意点

ノモグラムは、各因子のスコアを線上に可視化し、総合点から平地歩行自立確率を算出できる特徴を有し、特別なソフトウェアや統計知識がなくても利用可能である。視覚的・直感的に理解しやすい点は、多職種間の情報共有やリハビリテーション方針の統一にも有用である（図2参照）。

【使用例】以下に、1名の患者を想定した計算例を示す。年齢70歳、発症後17日で入棟、起き上がり動作が介助なし、BBS 23点、FIM 運動項目41点、FIM 認知項目24点の患者の場合、図2のノモグラムを用いて各因子に対応する得点を合算すると、約203点となり、120日後の平地歩行自立予測確率はおおよそ70%と算出される。

このように、個別患者の入棟時評価から簡便に予測が可能であり、目標設定や治療方針の共有、家族への説明などに直接的に役立つ実用性を備えている。本ノモグラムは、患者や家族に歩行の見通しを提示する際に具体的な根拠を提供でき、リハビリテーション治療への意欲向上にもつながる。さらに、医師、療法士、看護師、社会福祉士

など多職種が予測結果を共有することで、退院支援や治療方針の調整にも实际的に貢献する。ただし、本モデルは120日後までの予測に限定されており、それ以降の平地歩行自立を否定するものではない。また、予測対象は「平地歩行自立」に限られ、起居動作、座位バランス、移乗、排泄、短距離介助歩行などの他の機能目標には直接適用できない。このため、予測結果の解釈には一定の臨床的判断を加味することが不可欠である。

3. 各予測因子の臨床的妥当性と先行研究との整合性

本研究で抽出された予測因子には、年齢、発症後日数、起き上がり能力、バランス能力（BBS）、ADL能力（FIM運動項目）、および認知機能（FIM認知項目）が含まれた。これらは、いずれも先行研究で平地歩行自立との関連が報告されており、本研究の結果は従来の知見と一致していた。

年齢は、脳卒中後の歩行予後に影響を与える因子として広く知られている^{5, 7-9)}。道免ら⁸⁾は、回復期脳卒中片麻痺患者において、年齢が退院時の歩行能力に影響を及ぼすことを示している。Smithら⁵⁾の研究では、TWISTスコアの構成要素として、発症後1週時点の年齢が含まれており、年齢が早期の機能予測においても重要な要素であることが示唆されている。また、加齢に伴い、運動麻痺の改善が得られにくくなること²⁶⁾、身体機能や認知機能が低下すること^{27, 28)}が報告されており、年齢が平地歩行自立に関わる背景因子であると明確に示唆されている。

発症後日数も有意な予測因子であり、脳卒中後の歩行機能回復の時間的推移と関係していると判断される。Jørgensenら¹⁰⁾は、歩行能力の回復は脳卒中発症後11週間以内に95%の患者で起こると報告しており、Olsen²⁹⁾も同様に14週以内に95%の患者が可能な限り最良の歩行能力を獲得し

ていたとしている。本研究では発症後 140 日（約 20 週）までの長期追跡を行ったが、図 1 の Kaplan-Meier 曲線に示すように、発症後 90 日での歩行自立率は 43.0%，120 日で 50.9%，以降は増加せず、120 日以降は新たに平地歩行自立し難い傾向であった。これらの結果は、先行研究で示された歩行機能の回復過程と整合しており、発症からの早期段階での機能回復が重要であることが再確認された。本研究の結果でも、発症後 90 日以降は平地歩行自立率の上昇が緩やかになる傾向が認められた。このことは、平地歩行自立の獲得において、発症後早期の機能回復が極めて重要である可能性を示唆している。また、発症後早期の十分な強度のリハビリテーション治療が歩行能力の改善に影響することも複数の報告により支持されている^{4, 30, 31)}。

起き上がり能力については、歩行動作の前提となる体幹機能や移動動作の基盤としての重要性が指摘されている¹¹⁻¹³⁾。橋本ら¹²⁾の報告では、回復期脳卒中片麻痺患者の退院時平地歩行自立を予測する因子として、起居動作を点数化し BBS に加えた変数が抽出されており、吉松ら¹³⁾も入院時の起居動作能力が平地歩行自立の有意な予測因子の 1 つであると報告している。これらの知見は、本研究で起き上がり能力が予測因子として抽出された結果を強く裏付けるものである。

BBS は、脳卒中患者のバランス機能を多角的に評価する指標であり、これまでの多くの研究で平地歩行自立と強く関連することが明らかになっている^{5, 12-14)}。吉松ら¹³⁾は、決定木分析を用いた研究において入院時の BBS が有意な予測因子であると報告しており、Makizako ら¹⁴⁾も BBS を用いて、入院 3 カ月後の平地歩行自立予測が可能であることを示している。また、Smith ら⁵⁾の TWIST スコアにおいても BBS は重要な評価項目の 1 つである。以上より、BBS の高得点は平

地歩行自立に直結しやすく、本研究での結果もこれらの先行研究と高い整合性を示していた。

FIM 運動項目についても、複数の研究において歩行予後に関連する因子として報告されている^{6, 15)}。林ら⁶⁾は、認知機能が良好な場合には FIM 運動項目を含む運動機能が平地歩行自立時期の重要な予測因子になると報告しており、ADL 遂行能力の高さが全身の機能的能力を反映することが示唆されている。本研究においても、FIM 運動項目得点が有意な予測因子として抽出されており、先行研究の結果と一致する結果であった。

さらに、FIM 認知項目も歩行自立の予測因子として抽出された。FIM 認知項目は、理解・表出・社会的交流・問題解決・記憶の 5 項目から構成されており³²⁾、コミュニケーション能力や注意・記憶などの認知機能を評価する指標である。Jackson ら³⁰⁾は、認知機能障害を有する脳卒中患者は平地歩行自立の獲得に時間を要すると報告しており、大田尾ら³³⁾も、認知機能の低下が平地歩行自立を妨げる因子であると述べている。本研究の自立群の入棟時 FIM 認知項目得点の平均は 26.5 ± 6.2 点であり、1 項目あたり約 5 点（監視レベル）と比較的高い水準にあり、運動学習を進める強化因子³⁴⁾である理解や記憶が比較的保たれていた可能性がある。認知機能が良好であることで、歩行に必要な運動学習効果が得られやすく、結果として平地歩行自立に大きく寄与したと考えられる。

本研究で抽出された予測因子は、いずれも臨床的に妥当であり、先行研究とも整合している。これらの因子は、入棟時の患者評価で簡便に測定可能であり、平地歩行自立の予測や目標設定に高い実用性を持つ指標である。なお、予測因子間の多重共線性については、VIF がすべて 3.90 以下で、統計学的に有意な影響はないと判断された。このことから、各予測因子は独立して平地歩行自立予

測に寄与していると考えられる。

4. 予測モデルの性能評価と実用性

予測モデル評価では、内的検証を行うことが推奨されており²⁴⁾、本研究では、ブートストラップ標本を用い、先行研究³⁵⁻³⁷⁾に準じて、予測モデルのキャリブレーションの評価を行った(表3, 図3)。Concordance indexの基準^{37, 38)}では、0.61から0.75は臨床において有用の可能性があり、0.75より高ければ明らかに有用とされており、得られたノモグラムモデルは0.858(元標本)、0.851(ブートストラップ標本)と明確に高い予測性能を有していた。また、Calibration Interceptは0.038と非常に低く(理想値0に近い)、モデル全体の予測と実測に実質的な乖離は認められなかった。加えて、Calibration Slopeは0.962(理想値1に近い)であり、予測値と実測値の一致度も極めて良好であった(図3参照)。特に120日までの予測において線形性が保たれており、図3に見られるように本モデルが高精度かつ再現性の高い予測を可能とすることが示された。対象者の背景として、本研究の対象は当院の回復期リハビリテーション病棟に入棟した初発脳卒中片麻痺患者であり、平均年齢は73.7歳で、全国回復期リハビリテーション病棟協会の年次報告³⁹⁾における全国平均(77.5歳)よりやや若年であった。また、発症から入棟までの日数は平均18.4日で、全国平均(33.9日)より短期間であった。一方、入棟時FIM総合計の平均は60.1点で、全国平均(64.5点)よりやや低く、中等度のADL制限を有する症例が多かった。この差は、当院が急性期病院に併設され、発症から短期間で回復期病棟へ転棟可能な体制を有することに起因すると考えられる。なお、在棟日数の平均は66.2日で、全国平均(66.0日)とほぼ同等であったことから、退棟までの経過は全国的傾向とおおむね一致していた。

また、本研究のCox比例ハザードモデルには入棟日数が説明変数として含まれており、統計解析上は入棟時期の影響が一定程度調整されているため、施設特性の影響は限定的と考えられるが、完全に排除できるわけではない点には留意が必要である。以上を踏まえると、本研究の対象集団は、全国的な回復期リハビリテーション病棟の脳卒中患者像をおおむね反映していると考えられる。このような留意点はあるものの、本研究で構築したノモグラムモデルは、複雑な計算式を用いず、算出過程と各評価因子の重みを可視化でき、簡易に予測できるため、多忙な臨床現場でも高い実用性を有する。以上より、本モデルは識別能・較正能の双方において優れており、同様の臨床背景を有する施設においても高い信頼性をもって活用可能である。

5. 限界と今後の課題

本研究にはいくつかの限界がある。第1に、単一施設データに基づくモデルであり、外的妥当性の担保には限界がある。多施設での再現性確認が不可欠である。ただし、用いた評価項目は一般的であり、類似環境では応用可能性が見込まれる。応用に際しては、施設特性を考慮し、予測結果を臨床文脈に応じ柔軟に解釈すべきである。今後は、地域特性や患者属性の異なる施設からデータを収集し、外的妥当性を統計的に検証するとともに、予測性能の差異や評価指標の標準化を検討する多施設共同研究が望まれる。第2に、高次脳機能障害の影響を十分に反映できていない。脳卒中後の歩行獲得には、注意・記憶・遂行機能といった認知機能の関与が報告されており^{30, 33)}、今後の予測モデルにはこれらの要素も統合する必要がある。これにより、より包括的かつ精緻な予測が可能となることが期待される。第3に、急性期から回復期への転棟時点で既に離床・歩行練習を開

始している患者が多く、急性期リハビリテーション治療の頻度・内容や発症から入棟までの活動量は症例ごとに異なっていた。本研究ではこれらを十分把握できず、予測因子の一部に急性期治療や廃用の影響が含まれる可能性がある。また、回復期病棟での治療の種類や量も標準化されておらず、結果に影響した可能性がある。今後は急性期からの治療記録を含めた前向き研究により、モデルの精度と実用性を高める必要がある。第4に、Cox 比例ハザードモデルの前提条件である比例ハザード性 (PH 仮定) について、Schoenfeld 残差を用いた検定を行った結果、一部の 변수で統計学的に有意な時間依存性が認められた。残差プロットでは大きな変動はみられず、モデル全体の予測精度 (C-index 0.858) は高かったため、本研究では臨床的妥当性は保持されると判断したが、今後は時間依存性を考慮した予測モデル構築も検討すべきである。第5に、本研究で抽出された起き上がり能力、BBS、FIM 運動項目合計、FIM 認知項目合計は、いずれも運動機能や ADL を評価する臨床指標であり、動作能力の一部が重複する可能性がある。そのため、完全に独立した概念として扱うことは難しい。なお、多重共線性の確認として算出した VIF はいずれも 3.90 以下で、統計学的影響は軽微であった。また、これらの評価は臨床者の判断を伴うため、評価者間信頼性や測定条件の影響を受ける可能性が残る。今後は、より客観性の高い指標を組み合わせたモデル構築により、予測精度と再現性の向上を図ることが望まれる。

本論文発表内容に関して申告すべき COI はなし。

文 献

- 1) 厚生労働省：2022 (令和 4) 年 人口動態統計の概要。性別にみた死因順位別死亡数・死亡率・構成割合。Available from URL : https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/jinkou/kakutei22/dl/10_h6.pdf (2025 年 6 月 8 日引用)
- 2) 厚生労働省：2023 (令和 5) 年 患者調査の概要。1 推計患者数。Available from URL : <https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/kanja/23/dl/kanjya.pdf> (2025 年 6 月 8 日引用)
- 3) 中野克己, 今井基次, 辻 哲也, 里宇明元：移動能力と他の ADL 項目との関わり—機能的自立度評価法 FIM を用いて—。埼玉理学療法 1997 ; 5 : 28-31
- 4) Cirstea CM : Gait rehabilitation after stroke : Should we re-evaluate our practice? Stroke 2020 ; 51 : 2892-2894
- 5) Smith MC, Barber PA, Scrivener BJ, et al : The TWIST tool predicts when patients will recover independent walking after stroke : An observational study. Neurorehabil Neural Repair 2022 ; 36 : 461-471
- 6) 林 真範, 太田 郁：回復期リハビリテーション病棟における脳卒中片麻痺患者の歩行自立までの期間予測—重回帰式の構築と交差妥当性の検証—。理学療法科学 2019 ; 46 : 188-195
- 7) 二木 立：脳卒中リハビリテーション患者の早期自立度予測。リハビリテーション医学 1982 ; 19 : 201-223
- 8) 道免和久, 里宇明元, 近藤国嗣, 千野直一, 園田茂 : Classification and Regression Trees (CART) による脳卒中患者の退院時 ADL 予測。リハビリテーション医学 1995 ; 32 : 920-921
- 9) Zhiqing T, Wenlong S, Tianhao L, et al : Prediction of poststroke independent walking using machine learning : A retrospective study. BMC Neurol 2024 ; 24 : 332
- 10) Jørgensen HS, Nakayama H, Raaschou HO, Olsen TS : Recovery of walking function in stroke patients : The Copenhagen Stroke Study. Arch Phys Med Rehabil 1995 ; 76 : 27-32
- 11) Smith MC, Barber PA, Stinear CM : The TWIST algorithm predicts time to walking independently after stroke. Neurorehabil Neural Repair 2017 ; 31 : 955-964
- 12) 橋本祥行, 吉松竜貴, 新納法子, 他 : 回復期初発脳卒中片麻痺患者の退院時歩行自立を予測する因子の検討—寝返り, 起き上がりを含む動作能力の重要性について—。理学療法科学 2018 ; 33 : 219-222
- 13) 吉松竜貴, 加辺憲人, 橋本祥行, 牧迫飛雄馬 : 回復期脳卒中患者の歩行自立予測—信号検出分析による臨床応用を目指した検討—。理学療法科学 2018 ; 33 : 145-150
- 14) Makizako H, Kabe N, Takano A, Isobe K : Use of the Berg Balance Scale to predict independent gait after stroke : A study of an inpatient population in Japan. PM R 2015 ; 7 : 392-399
- 15) 妹尾祐太, 井上 優 : 脳卒中患者における回復期リハビリテーション病棟退院時の歩行自立可否予測—入棟時の簡易な情報を用いた決定木分析による検討—。理学療法おこやま 2022 ; 3 : 16-24
- 16) Childs JD, Cleland JA : Development and application of clinical prediction rules to improve decision

- making in physical therapist practice. *Phys Ther* 2006 ; **86** : 122-131
- 17) Adams ST, Leveson SH : Clinical prediction rules. *BMJ* 2012 ; **344** : d8312
 - 18) 天野徹哉 : 理学療法における臨床予測ルールの役割と臨床適用. *理学療法学* 2025 ; **52** : 108-113
 - 19) 玉利光太郎 : 理学療法における臨床予測ルール. *理学療法学* 2025 ; **52** : 62-67
 - 20) Cowley LE, Farewell DM, Maguire S, Kemp AM : Methodological standards for the development and evaluation of clinical prediction rules : A review of the literature. *Diagn Progn Res* 2019 ; **3** : 16
 - 21) 澤田陽平, 大堀 理, 大久保秀紀, 他 : 限局性前立腺癌における術後生化学的非再発率の術前予測ノモグラムの開発. *東京医科大学雑誌* 2016 ; **74** : 54-60
 - 22) Zhang Y, Chen XL, Chen WM, Zhou HB : Prognostic nomogram for the overall survival of patients with newly diagnosed multiple myeloma. *Biomed Res Int* 2019 ; **2019** : 5652935
 - 23) Liu Y, Lin X, Xue L, Wen Y, Wang S, Wang X : Establishment and validation of a novel nomogram for survival prediction of ovarian carcinosarcoma. *Transl Cancer Res* 2022 ; **11** : 52-62
 - 24) 武藤健人, 西川大樹, 久保田雅史 : 自宅退院となる高齢脳梗塞患者における退院時転倒リスクの予測に病前生活空間は有用である. *日本老年医学会雑誌* 2024 ; **3** : 1-8
 - 25) 厚生労働省 : 日常生活機能評価 評価の手引き. Available from URL : <https://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-12400000-Hokenkyoku/0000038913.pdf> (2025年6月8日引用)
 - 26) 二木 立 : 脳卒中患者の障害の構造と研究. *総合リハビリテーション* 1983 ; **11** : 465-476
 - 27) 池添冬芽, 浅川康吉, 島 浩人, 市橋則明 : 加齢による大腿四頭筋の形態的特徴および筋力の変化について—高齢女性と若年女性との比較—. *理学療法学* 2007 ; **34** : 232-238
 - 28) 神崎恒一 : 加齢に伴う認知機能の低下と認知症. *日本内科学会雑誌* 2018 ; **107** : 2461-2468
 - 29) Olsen TS : Arm and leg paresis as outcome predictors in stroke rehabilitation. *Stroke* 1990 ; **21** : 247-251
 - 30) Jackson D, Thornton H, Stokes LT : Can young severely disabled stroke patients regain the ability to walk independently more than three months post stroke? *Clin Rehabil* 2000 ; **14** : 538-547
 - 31) Kwakkel G, Wagenaar RC, Twisk JW, Lankhorst GJ, Koetsier JC : Intensity of leg and arm training after primary middle-cerebral-artery stroke : A randomised trial. *Lancet* 1999 ; **17** : 191-196
 - 32) 里宇明元, 園田 茂, 道免和久 編著 : 脳卒中患者の機能評価 SIAS と FIM の実際. シュプリンガー・フェアラーク, 東京, 2004 ; pp 86-96
 - 33) 大田尾 浩, 八谷瑞紀, 村田 伸, 他 : 脳卒中片麻痺患者の歩行自立に影響を及ぼす要因—認知機能が低下した患者を対象に含めた検討—. *ヘルスプロモーション理学療法研究* 2011 ; **1** : 93-99
 - 34) 長谷公隆 編著 : 運動学習理論に基づくリハビリテーションの実践. 医歯薬出版, 東京, 2013 ; pp 34-51
 - 35) Steyerberg EW, Vickers AJ, Cook NR, et al : Assessing the performance of prediction models : A framework for traditional and novel measures. *Epidemiology* 2010 ; **21** : 128-138
 - 36) Ben VC, David JM, Maarten VS, Wynants L, Steyerberg EW : Calibration : The Achilles heel of predictive analytics. *BMC Med* 2019 ; **16** : 230
 - 37) Naye F, Décary S, Houle C, et al : Six externally validated prognostic models have potential clinical value to predict patient health outcomes in the rehabilitation of musculoskeletal conditions : A systematic review. *Phys Ther* 2023 ; **103** : 1-10
 - 38) Alba AC, Agoritsas T, Walsh M, et al : Discrimination and calibration of clinical prediction models : Users' guides to the medical literature. *JAMA* 2017 ; **318** : 1377-1384
 - 39) 一般社団法人回復期リハビリテーション病棟協会 : 2024 年度回復期リハビリテーション病棟の現状と課題に関する調査報告書. 一般社団法人回復期リハビリテーション病棟協会, 東京, 2025 ; pp 33-91