

Original Article

回復期リハビリテーション病棟における脳卒中患者の退院時 FIM 運動項目合計予測式の精度比較

和田義敬,¹ 園田 茂,¹ 岡本さやか,¹ 渡邊 誠,¹ 岡崎英人,¹ 奥山夕子¹¹藤田医科大学七栗記念病院

要旨

Wada Y, Sonoda S, Okamoto S, Watanabe M, Okazaki H, Okuyama Y. Comparison of prediction accuracy of the total score of FIM motor items at discharge in post-stroke patients in a Kaifukuki rehabilitation ward. *Jpn J Compr Rehabil Sci* 2019; 10: 71–76.

【目的】回復期リハビリテーション病棟入院脳卒中患者の重回帰分析による ADL 帰結予測重回帰式の精度を比較した。

【方法】当院回復期リハビリテーション病棟を入院した脳卒中患者 1,502 例を予測式を作成する作成群と予測精度を確認する検証群の 2 群に分けた。作成群で退院時 mFIM が従属変数の重回帰分析の予測式 (S 予測式), Reciprocal 重回帰分析の予測式 (R 予測式), mFIM effectiveness が従属変数の重回帰分析から退院時 mFIM を求める式 (E 予測式) を作成した。検証群で退院時 mFIM の予測値を算出し, 実測値と予測値の級内相関係数・実測値から予測値を引いた残差の絶対値を比較した。

【結果】級内相関係数は S 予測式 0.86, R 予測式 0.90, E 予測式 0.89 であった。残差の絶対値は S 予測式 9.38 ± 6.62 , R 予測式 7.30 ± 6.56 , E 予測式 7.56 ± 6.45 であった。Steel-Dwass 検定で S 予測式と R 予測式, S 予測式と E 予測式間で有意差 ($p < 0.05$) を認めた。

【結論】重回帰分析による ADL 帰結予測式ではモデルを線形に近づける変換を加えることで予測精度を高められた。

キーワード: 脳卒中, リハビリテーション, 重回帰分析, 帰結予測, FIM

はじめに

帰結予測を行うことはリハビリテーションにおいて治療プランを立案・実行する上で重要である。回復期

リハビリテーション病棟に入退院した脳卒中患者の帰結予測として, Barthel Index, Functional Independence Measure (以下, FIM) [1] を利用した重回帰分析による予測式を作成は多く報告されている [2, 3]。

予測精度を向上させるために組み入れる変数の取捨選択 [3] とともに, さまざまな方法が提唱されている。予測に使う変数をあらかじめ変換する [4], 改善する最大値に対する実際の改善量の比率である FIM effectiveness [5, 6] を予測する方法, 同一集団内で予測式を複数作成する [7–9] などがある。先行研究においては重回帰分析による予測式の作成を行い, その精度を比較しているものの研究ごとにそれぞれ従属変数が異なっているなど, 統一した条件での精度比較には到っていない。

本研究では, 同一条件下で先行研究を基にした予測式 3 種を比較し, 予測精度を検討したので報告する。

方法

1. 対象

対象は 2004 年 2 月から 2017 年 3 月までに当院回復期リハビリテーション病棟に入退院した初発のテント上脳出血または脳梗塞患者である。これら患者の内, 60 歳以上, 発症から当院回復期リハビリテーション病棟入院までが 7 日から 60 日以内, 訓練に支障を来す重篤な併存疾患 (comorbidity Index [10] が 4 以上) がなく, 入院中に急性増悪がなかった 1,502 名を対象とした。全例において週 7 日訓練を行う Full-time Integrated Treatment program [11] が施行された。

2. 入退院時変化

対象患者の入院時 FIM 運動項目合計点 (mFIM) と退院時 mFIM の散布図 (図 1) を作成, 回帰式を計算した。退院時 mFIM から入院時 mFIM を引いて mFIM 利得を算出し, さらに 91 (mFIM の最大値) から入院時 mFIM を引いた値で mFIM 利得を除いて mFIM effectiveness を計算した [5]。入院時 mFIM と mFIM effectiveness の散布図 (図 2) を作成した。

3. 3 種の重回帰分析方法

Tokunaga らの報告 [6] を基に独立変数は年齢, 発症から入院までの期間, 入院時 mFIM, 入院時 FIM 認知項目合計点 (以下 cFIM), 性別 (男性/女性), 脳卒中の病型 (脳出血/脳梗塞) を用いた。性別, 脳

著者連絡先: 和田義敬
藤田医科大学七栗記念病院
〒514-1295 三重県津市大鳥町 424-1
E-mail: yoshi1201@med.showa-u.ac.jp
2019 年 7 月 17 日受理

利益相反: 本研究において一切の利益相反はありません。

卒中の病型はダミー変数（男性 0/女性 1, 脳出血 0/脳梗塞 1）とした。

S 予測式：従属変数を退院時 mFIM, 独立変数を上記項目とする重回帰分析により予測式を作成した。

R 予測式：従属変数を退院時 mFIM, 独立変数を Sonoda らの報告 [4] に従い入院時 mFIM のみを逆数

(1/入院時 mFIM) にした重回帰分析を行い, 予測式を作成した。

E 予測式：はじめに Tokunaga らの報告 [6] に合わせ mFIM effectiveness を従属変数として, 上記独立変数を用いた重回帰分析を行った。得られた mFIM effectiveness 予測値を用い, 入院時 mFIM+mFIM effectiveness 予測値×(91-入院時 mFIM) で退院時 mFIM 予測値を算出した。

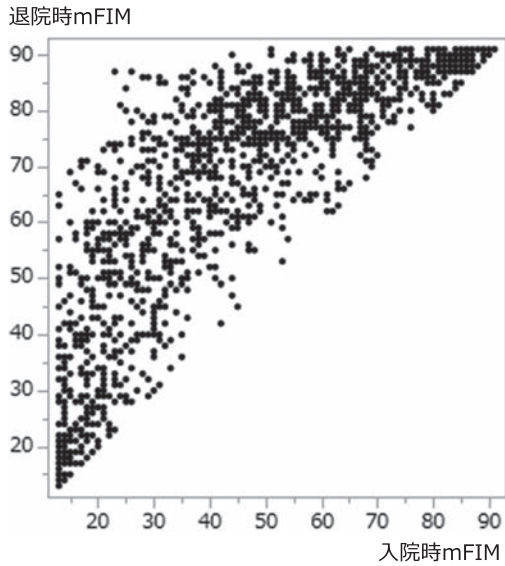


図 1. 入院時 mFIM と退院時 mFIM の散布図

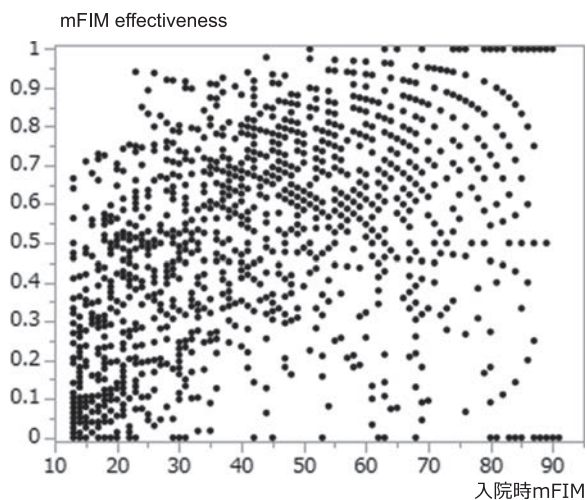


図 2. 入院時 mFIM と mFIM effectiveness の散布図

4. 検証方法

JMP Pro14 を用いて単純無作為式で 1,502 名を 751 名ずつ 2 群に割り付けた。2 群をそれぞれ重回帰分析によって予測式を作成するための作成群と作成された予測式を用いて予測値を算出する検証群に設定した。作成群で S 予測式, R 予測式, E 予測式を作成した。検証群において各予測式による予測値を求め, 退院時 mFIM の実測値と予測値の散布図を作成し, 実測値と予測値の級内相関係数, 残差 (実測値から予測値を引いた値) を求めた。Bartlett 検定を事前に行い正規性分布に各群が従わないことから残差の絶対値の中央値を 3 予測式間で Kruskal-Wallis 検定を用いて比較し, ポストホック分析として Steel-Dwass 検定を行った。すべての検定において統計学的水準を 5% 未満 ($p < 0.05$) とした。

一連の研究を行うに当たり, 入院時に患者からのデータ使用の包括同意を得ており, 個人情報解析中に扱わないように配慮した。統計ソフトは JMP Pro14 を用いた。

結果

患者特性を表 1 に示す。入院時 mFIM と退院時 mFIM の散布図, 入院時 mFIM と mFIM effectiveness の散布図を図 1, 図 2 に示す。mFIM 実測値と予測値の散布図を図 3 に示す。検証群での予測値と実測値の級内相関係数は S 予測式 0.86, R 予測式 0.90, E 予測式 0.89 であった。残差は S 予測式 -0.83 ± 11.5 (中央値 -0.02), R 予測式 0.83 ± 9.79 (中央値 0.95), E 予測式 1.03 ± 9.89 (中央値 0.61) であった。残差の絶対値は S 予測式 9.38 ± 6.62 (中央値 7.90), R 予測式 7.30 ± 6.56 (中央値 5.67), E 予測式 7.56 ± 6.45 (中央値 5.99) であった。Kruskal-Wallis 検定を行い, 3 群間に有意差を認めた ($p < 0.05$)。Steel-Dwass 検定を行い, S 予測式と R 予測式間, S 予測式と E 予測式間

表 1. 患者特性

	作成群 (N=751)	検証群 (N=751)
性別 (男性 / 女性)	432/319	423/328
年齢 (歳)	72.5±7.8 (72)	72.6±7.9 (72)
発症から入院までの期間 (日)	32.6±12.1 (31)	32.5±11.9 (31)
脳卒中病型 (脳出血 / 脳梗塞)	310 例 / 441 例	304 例 / 447 例
入院時運動 FIM 合計点 (点)	45.0±22.4 (44)	43.5±22.0 (41)
入院時認知 FIM 合計点 (点)	22.9±8.7 (24)	22.4±9.0 (23)
退院時運動 FIM 合計点 (点)	65.6±22.0 (73)	63.8±22.8 (71)

数値：平均 ± 標準偏差 (中央値)

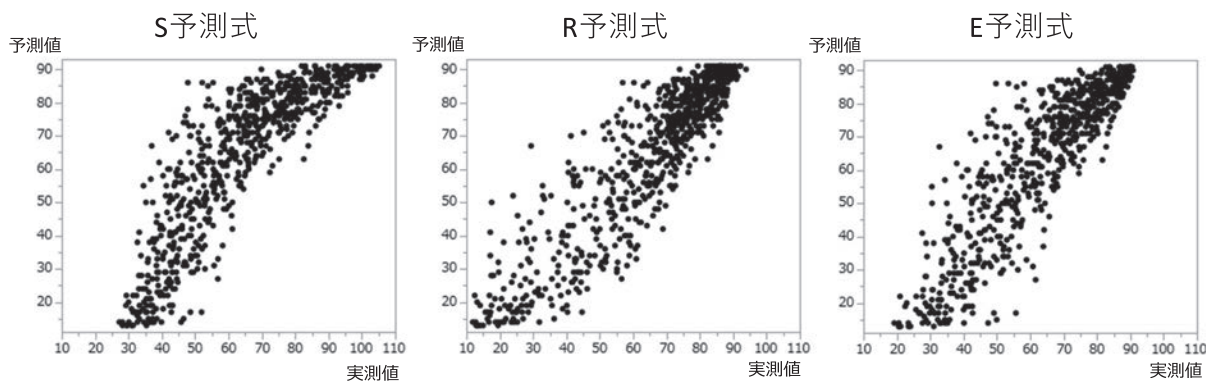


図 3. 各予測式での退院時 mFIM の実測値と予測値の散布図

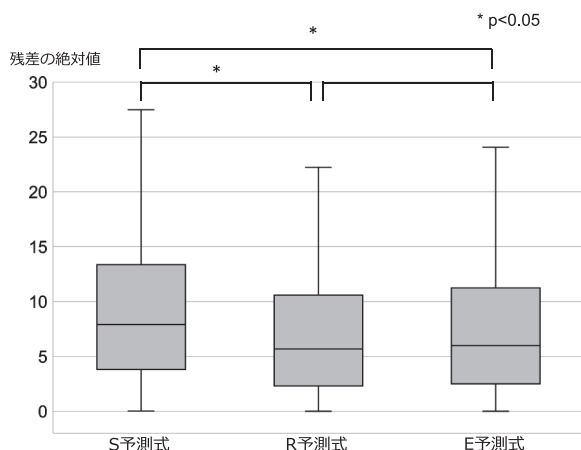


図 4. 各予測式間での残差の比較

では有意差を認め ($p < 0.05$), それぞれ S 予測式での残差の絶対値が大きかった. R 予測式と E 予測式間には有意差を認めなかった ($p = 0.52$) (図 4).

考察

本研究により通常の重回帰分析と比較し, 入院時 mFIM の逆数を用いた方法や mFIM effectiveness の予測を経由し予測する方法が退院時 mFIM の予測精度が高まること明らかになった. 以下, 帰結予測の比較方法, 今回用いた予測方法の特徴の順に考察する.

帰結予測の比較方法

これまでも脳卒中患者の帰結予測方法を比較した検討はいくつか発表されている [2-4, 12]. Heinemann らは Uniform Data System for Medical Rehabilitation のデータベースからの帰結予測を行う際の比較として 17 研究の要約を行い, 予測率や変数の寄与程度の多様さを指摘している [3]. Meyer らは脳卒中患者の FIM や Barthel index を予測する重回帰分析に限定して systematic review を行っている [2]. 27 研究, 63 重回帰式が集められ, どの項目が有意な寄与をしているかを中心に論じられているものの予測手法の是非は言及されていない.

帰結予測方法を比較する場合, 比較条件をどこまで揃えているかが確認すべきポイントとなる. 対象患者

が異なる研究同士をまとめて比較するメタアナリシスや systematic review では多数例をまとめられる利点と患者層の違いによる解釈の困難さが併存する. 予測式作成や帰結予測精度確認に用いる対象患者を同一にした帰結方法比較は有用であり, さらに均一な多数例の集団であるとなお良い. これまで日本リハビリテーション・データベース協議会の多数例データを用いた帰結比較研究が行われているものの, 多様なリハビリテーション環境からの任意に提出されたデータを用いているという限界がある [8, 13-17]. 今回のわれわれの研究対象患者は運動学習に添った FIT program に参加しており, 回復期リハビリテーション病棟で均一なりハビリテーションを受けた比較的大規模集団を研究に利用できたと考える.

統計手法を変えて比較する場合には用いる独立変数も同一にして, 提供される情報量を揃えることが重要である. 本研究では同一独立変数を用いた比較を計画し, 統計手法による違いを明確に捉えていると考える.

精度比較方法として重回帰分析では重相関係数を用いられることが多い. 重回帰式を作成した群での予測精度のみを示すより, 検証群を設定して検証群での予測精度を示したほうが望ましいことと考える. そのため, 検証群では用いられない重相関係数以外の判断方法を利用しなければならない. 今回, われわれは級内相関係数を用いての比較を実施したがほぼ同一精度となったため, さらに実測値から予測値を引いた残差の絶対値を用いた. 先行研究 [4, 8, 17-19] において残差, 残差の 2 乗, 残差の絶対値を用いての比較が行われている. 本研究は予測式の比較が目的であり系統的誤差の小ささより実際の得点にどちらが近いかが重要であるため, 残差の絶対値を今回は採用した.

今回の帰結予測方法の特徴

回復期リハビリテーション病棟の入院時 ADL から退院時 ADL を予測する場合, その関係は直線でないことが知られている [4]. mFIM で表現すると, 入院時に 13 点未満となれない床効果と退院時に 91 点より高くなれない天井効果の影響があり, 中等度介助レベルの患者の ADL 改善度合いが他に較べて大きいためと考えられる. この非線形問題の解決方法として, 重回帰分析の工夫, 非線形の回帰式の使用などがあげられている [4, 20, 21]. 今回は予測の論理構造がわかりやすい重回帰分析における工夫方法の比較を検

討した。

Sonoda ら [4], Inouye [20] によれば, 重回帰式ではモデルを線形に近づけることが精度向上に繋がる。今回の実測値と予測値との散布図において単純な重回帰式である S 予測式はシグモイドカーブを描くのに対し, R 予測式と E 予測式では線形に近いモデルとなり, S 予測式より予測精度が高くなった。

R 予測式と E 予測式はそれぞれ入院時 mFIM による天井効果を補正していると考えられる。まず R 予測式においては入院時 mFIM 高得点患者の mFIM 逆数値は 0 に近い値となり, 予測値への影響が小さくなる。E 予測式では, 最初に mFIM effectiveness を重回帰分析で予測し, その後その値から退院時 mFIM を計算する。mFIM effectiveness は 0 から 1 の範囲の値をとるため, 後半の計算段階の mFIM effectiveness 予測値 \times (91 - 入院時 mFIM) がほとんどの入院時 mFIM 高得点患者において小さな値となり, 結果的に実測値と予測値とのずれも小さくなる。

R 予測式での逆数化は mFIM の最小値が 0 でなく 13 であるため, 床効果にあまり影響しないと考える。mFIM effectiveness は入院時 mFIM が低い範囲 (13-48 点) でのアウトカムの低さを補正できていないと報告されている [22]。本研究においても図 3 で示しているように入院時 mFIM の低い範囲では退院時 mFIM の予測値が実測値より低い傾向にあり, 床効果は補正できていない。

以上より, 今回の 3 予測式比較において S 予測式よりも R 予測式と E 予測式が良好な結果を得た理由は主に入院時 mFIM 高得点患者における天井効果の抑制にあったと考えた。R 予測式と E 予測式間では差を認めなかった要因としては, 重回帰分析による予測モデルを線形に近づける変換には適合面で限界があり, また阻害因子などの影響を受けた一定数の患者が予測精度を低下させると考えられる。

今後の方向性

本研究では R 予測式や E 予測式の工夫をしても級内相関係数が約 0.9 に留まった。さらに重回帰分析の手法のなかで工夫するとすれば, mFIM 低得点層と高得点層に別の重回帰式を当てはめる Piecewise 重回帰分析 [23] を用いて mFIM 低得点層での予測精度を上げるなどが考えられる。

他の予測精度向上の方向性としては Rasch 分析などにより FIM を間隔尺度に変換すること [24] や経時的なデータを加えて予測することなどが考えられる。経時的なデータを補う方法としては入院 1 か月後の FIM 改善を独立変数とする重回帰分析 [12], 対数曲線で入院時および 2-6 週間後の FIM から退院時 mFIM を予測する [21] などが報告されている。経時データを待つ間にリハビリテーションのゴールに近づいてしまうのでは本末転倒であり, 予測精度向上と予測時期の遅れとのトレードオフに注意しなければならないだろう。また, 加える変数のなかで阻害因子に関してはその阻害因子がどの患者層に悪影響を与えるのかに配慮することが重要である [25]。今後はニューラルネットワーク [26] や AI の応用も考えられる。

これらの応用をしていく際に, 今回の予測式の精度比較の検討, すなわち投入する変数を同一内容にし,

作成群・検証群に分けて残差・級内相関係数を比較することを活かしていきたい。

結語

回復期リハビリテーション病棟入院脳卒中患者を対象に用いる変数を同一にした重回帰分析の予測式 3 種を比較した。実測値から予測値を引いた残差の絶対値を用いた予測精度は通常重回帰分析より mFIM の逆数を用いる R 予測式や FIM effectiveness の予測を経由する E 予測式の方が良好であり, 予測モデルを線形に近づける変換を加えることで予測精度を高められることが証明できた。今回の検討方法を活かし, 予測手法, 用いる独立変数を工夫してより良い帰結予測を考案していきたい。

文献

1. Data management service of the Uniform Data System for Medical Rehabilitation and the Center for Functional Assessment Research: Guide for use of the Uniform Data Set for Medical Rehabilitation. version 3.1, State University of New York at Buffalo, Buffalo, 1990.
2. Meyer MJ, Pereira S, McClure A, Teasell R, Thind A, Koval J, et al. A systematic review of studies reporting multivariable models to predict functional outcomes after post-stroke inpatient rehabilitation. *Disabil Rehabil* 2015; 37: 1316-23.
3. Heinemann AW, Linacre JM, Wright BD, Hamilton BB, Granger C. Prediction of rehabilitation outcomes with disability measures. *Arch Phys Med Rehabil* 1994; 75: 133-43.
4. Sonoda S, Saitoh E, Nagai S, Okuyama Y, Suzuki T, Suzuki M. Stroke outcome prediction using reciprocal number of initial activities of daily living status. *J Stroke Cerebrovasc Dis* 2005; 14: 8-11.
5. Koh GC, Chen CH, Petrella R, Thind A. Rehabilitation impact indices and their independent predictors: a systematic review. *BMJ Open* 2013; 3: e003483.
6. Tokunaga M, Watanabe S, Sonoda S. A method of calculating functional independence measure at discharge from functional independence measure effectiveness predicted by multiple regression analysis has a high degree of predictive accuracy. *J Stroke Cerebrovasc Dis* 2017; 26: 1923-8.
7. Tokunaga M, Tori K, Eguchi H, Kado Y, Ikejima Y, Ushijima M, et al. The stratification of motor FIM and cognitive FIM and the creation of four prediction formulas to enable higher prediction accuracy of multiple linear regression analysis with motor FIM gain as the objective variable—an analysis of the Japan Rehabilitation Database. *Jpn J Compr Rehabil Sci* 2017; 8: 21-9.
8. Tokunaga M, Taniguchi M, Nakakado K, Mihono T, Okido A, Ushijima T, et al. Assessment of the effects of factors in stroke rehabilitation using eight multiple regression analyses—an analysis of the Japan Rehabilitation Database—. *Jpn J Compr Rehabil Sci* 2015; 6: 78-85.
9. Imada Y, Tokunaga M, Fukunaga K, Sannomiya K, Inoue R, Hamasaki H, et al. Relationship between

- cognitive FIM score and motor FIM gain in patients with stroke in a Kaifukuki rehabilitation ward. *Jpn J Compr Rehabil Sci* 2014; 5: 12–8.
10. Liu M, Domen K, Chino N. Comorbidity measures for stroke outcome research: a preliminary study. *Arch Phys Med Rehabil* 1997; 78: 166–72.
 11. Sonoda S, Saitoh E, Nagai S, Kawakita M, Kanada Y. Full-time integrated treatment program, a new system for stroke rehabilitation in Japan: comparison with conventional rehabilitation. *Am J Phys Med Rehabil* 2004; 83: 88–93.
 12. Tokunaga M, Katsura K, Tokisato K, Honda S, Nakanishi T, Takai S, et al. Increasing the prediction accuracy of FIM gain by adding FIM improvement for one month from admission to the explanatory variables in multiple regression analyses. *Jpn J Compr Rehabil Sci* 2017; 8: 16–20.
 13. Jeong S, Inoue Y, Kondo K, Matsumoto D, Shiraishi N. Formula for predicting FIM for stroke patients at discharge from an acute ward or convalescent rehabilitation ward. *Jpn J Compr Rehabil Sci* 2014; 5: 19–25.
 14. Iwai N, Aoyagi Y. Discharge index and prediction for stroke patients in the post-acute stage. *Jpn J Compr Rehabil Sci* 2012; 3: 37–41.
 15. Mutai H, Furukawa T, Araki K, Misawa K, Hanihara T. Factors associated with functional recovery and home discharge in stroke patients admitted to a convalescent rehabilitation ward. *Geriatr Gerontol Int* 2012; 12: 215–22.
 16. Tokunaga M, Nishikawa M, Matsumoto A, Nanbu S, Nakagawa A, Maeda Y, et al. The Relationship between measured values and values predicted using multiple regression analysis for mean motor FIM at discharge—a study at 13 Kaifukuki rehabilitation hospitals for stroke patients in the Japan Rehabilitation Database—. *Jpn J Compr Rehabil Sci* 2015; 6: 86–90.
 17. Tokunaga M, Sannomiya K, Nakanishi R, Yonemitsu H. The external validity of multiple regression analyses predicting discharge FIM score in patients with stroke hospitalized in Kaifukuki rehabilitation wards—analysis of the Japan Rehabilitation Database—. *Jpn J Compr Rehabil Sci* 2015; 6: 14–20.
 18. Jeong S, Kondo K, Shiraishi N, Inoue Y. An evaluation of post-stroke rehabilitation in Japan. *Clinical Audit* 2010; 2: 59–66.
 19. Tokunaga M, Ikeda Y, Inoue M, Kodama J, Sakamoto M, Nagatomo M, et al. Multiple regression analysis stratified by age and FIM at admission. *J Clin Rehabil* 2015; 24: 828–34. Japanese.
 20. Inouye M. Predicting outcomes of patients in Japan after acute stroke using a simple model. *Am J Phys Med Rehabil* 2001; 80: 645–9.
 21. Koyam T, Matsumoto K, Okuno T, Domen K. A new method for predicting functional recovery of stroke patients with hemiplegia: logarithmic modelling. *Clin Rehabil* 2005; 19: 779–89.
 22. Tokunaga M, Nakanishi R, Watanabe S, Maeshiro I, Hyakudome A, Sakamoto K, et al. Corrected FIM effectiveness as an index independent of FIM score on admission. *Jpn J Compr Rehabil Sci* 2014; 5: 7–11.
 23. Sonoda S, Saitoh E, Domen K, Chino N. Prognostication of stroke patients using the Stroke Impairment Assessment Set and the Functional Independence Measure. In: Chino N, Melvin JL, eds. *Functional Evaluation of Stroke Patients*. 1st ed. Tokyo: Springer-Verlag Tokyo; 1996. p.103–114.
 24. Linacre JM. The structure and stability of the Functional Independence Measure. *Arch Phys Med Rehabil* 1994; 75: 127–32.
 25. Okamoto S, Sonoda S, Watanabe M, Okazaki H, Yagihashi K, Okuyama Y. Relationship between Functional Independence Measure (FIM) score on admission and influence of inhibitive factors in a comprehensive inpatient stroke rehabilitation ward. *Jpn J Compr Rehabil Sci* 2018; 9: 59–65.
 26. Sonoda S, Saitoh E, Tsujiuchi K, Suzuki M, Domen K, Chino N. Stroke outcome prediction using neural networks. *Sougou Rehabil* 1995; 23: 499–504.