

# 脳卒中片麻痺の運動機能予後と拡散テンソル トラクトグラフィ (DTT) 上の運動下行路 (CST, CRP)・経脳梁線維 (TCF) との関連

木 佐 俊 郎<sup>1)2)</sup>    酒 井 康 生<sup>2)</sup>    加 藤 三千夫<sup>3)</sup>  
森 脇 大 樹<sup>4)</sup>    おお 田 誠<sup>1)</sup>

キーワード：脳卒中片麻痺，運動機能予後，拡散テンソルトラクトグラフィ (DTT)，  
皮質脊髄路 (CST)，皮質網様体路 (CRT)，経脳梁線維 (TCF)

## 要 旨

【目的】脳卒中片麻痺の回復経過と運動下行路・脳梁との関連性を明らかにする。【対象と方法】回復期リハビリテーション病棟に入院した脳卒中片麻痺患者49例に拡散テンソルトラクトグラフィ (DTT) 描出を行い，麻痺の回復経過と DTT 所見との関連性を検討した。【結果】上肢の麻痺改善には病巣と同側の皮質脊髄路と病巣の反対側の皮質網様体路，手の麻痺改善には病巣と同側の皮質脊髄路，下肢の麻痺改善には病巣と反対側の皮質網様体路の役割が重要であることが示された。下肢については皮質網様体路の線維増生が顕著なほうが，麻痺回復度が有意に大きかった。新たな知見として，経脳梁線維がみられるほうが，上肢・手・下肢の分離運動が進む症例が有意に多かった。【結論】脳卒中片麻痺における運動下行路の回復期における動向と代償的变化（皮質網様体路の増生，経脳梁線維の出現）について明らかにすることができた。

## は じ め に

脳卒中片麻痺の運動機能回復経過を DTT 所見との関連で記した症例報告<sup>1-6)</sup>が散見される。これ

らによると，皮質脊髄路 (cortico-spinal tract: CST) と皮質網様体路 (cortico-retinal pathway: CRP) の重要性は言うまでもないが，経脳梁線維 (trans-callosal fibers: TCF) も片麻痺回復において重要な役割を果たしていることが示唆される。一方，運動下行路 (descending motor-pathways: DP) を脳卒中片麻痺回復過程と絡めて多数例で検討した英文報告は2編と少ない<sup>7-8)</sup>。Yoo ら<sup>7)</sup>は，上肢・手指に完全片麻痺が残った脳

Toshiro KISA et al.

1) 松江生協病院 リハビリテーション科

2) 島根大学医学部 リハビリテーション医学講座

3) 松江生協病院 放射線技術科

4) 松江生協病院 リハビリテーション室

連絡先：〒690-8522 島根県松江市西津田8-8-8

松江生協病院 リハビリテーション科

卒中症例を検討し、非罹患側における大脳半球のCRPが代償的に増大することが歩行能力回復に相関すると報告した。Jang ら<sup>8)</sup>の報告は被殻出血の病巣側におけるCST・CRP損傷の頻度と麻痺状況にのみ限定した内容である。Yoo ら<sup>7)</sup>の症例群は上肢・手指が完全片麻痺で終始しTCFは出現せず、Yoo ら<sup>7)</sup>の症例はTCF出現例もあるが、その事実とTCFの意義には触れていない。

このように、多数例を扱った報告においてはTCFに関する記述が無いことから、我々は脳卒中片麻痺の運動機能回復におけるCST・CRPのみならずTCFの役割をも明らかにすべく、以下の検討を行った。

## 対 象

X年2月28日からX+4年2月10日の間に片麻痺を初発し、その後A病院回復期リハビリテーション（以下、リハと略す）病棟に入室した症例で、予後を推定する目的でDTTを撮像した脳卒中49例である。選定対象は片麻痺を初発した脳梗塞、脳出血の全例である。小脳出血や小脳梗塞、運動失調を伴う片麻痺症例、パーキンソン病の既往がある症例は除外した。また、DTI撮像への不同意、データ使用への不同意、不穏・認知障害でMRI撮影が不可能な症例、心臓ペースメーカーがありMRI禁忌となる症例も除外した。

## 研 究 の 方 法

### 1) 対象に対して行ったDTTの撮像・描出・読影・解析法

DTTの撮像時期は、脳浮腫の影響を避ける目的で、原則として発症から1か月～2か月あるいは回復期リハ病棟への入棟後1か月以内に設定された。DTTの撮像は、1名の専任放射線技師に

より、通常MRIに約5分を加え行われ、運動下行路を描出するにあたってのMRI装置はIngenia 1.5 T (Philips 社) ds Head-Neck-coil、画像処理は上装置に附属の「Fiber Tracking Application」を使用された。DTTの撮像は、解析画像選択→位置合わせ→始点、ターゲットROI設定→DICOM保存→画像サーバ転送という流れ（シーケンス）で行われた。

DTTの描出起点となる関心領域（range of interest : ROI）は、文献<sup>1-9)</sup>に準じて、CSTを一次運動野・内包後脚・中脳大脳脚、CRPを前運動野・内包後脚・中脳被蓋・橋延髄網様体と定めた。DTTの解析は、A病院のリハ科、脳神経内科、脳神経外科の各専門医1名と症状を知らない放射線科医1名のカルテ上での合意にて行った。DTTの正常基準はJang ら<sup>7)</sup>、Yoo ら<sup>8)</sup>による健康者集団での運動下行路描出図（normal allotype of descending motor-pathways: NDP）と設定した。当院での高齢男性ボランティア（74歳）のNDP図も参考にした。

これら正常基準をもとに、図1に例示するような6つの類型を設定して、研究対象のDPの解析を行った。用語の説明と図1の説明文は別表1として添付した。

運動下行路(DP)とTCFの形態について、既報レビュー<sup>9)</sup>では「太い：thick」「細い：thin」が使用されており、これらの表現は準用した。しかし主観的な表現はこれらだけにすることを目指し、以下の方法で、病巣側DP(CST, CRP)の幅が反対側DPに比べ何パーセントの量に相当するか計測・計算した。その手順は別表2に示した。

### 2) 片麻痺の評価法と評価時期

片麻痺の評価は、発症時（1～3病日）に急性期病院（或いはA病院の急性期病棟）のリハ療

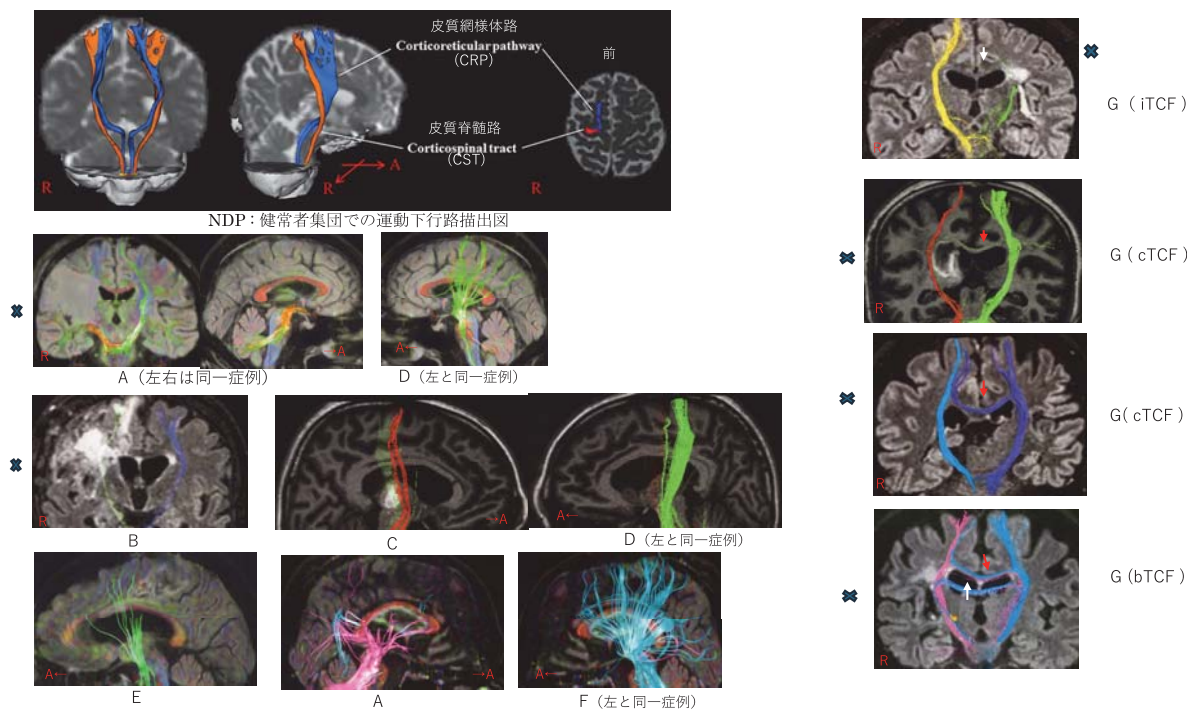


図1 脳卒中片麻痺者の回復期拡散テンソルトラクトグラフィー所見の類型

別表1 用語の説明と図1の説明

|                        |                                                                                                                                                                                                   |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| DTT:                   | diffusion tensor tractography 拡散テンソルトラクトグラフィー                                                                                                                                                     |
| CST:                   | cortico-spinal tract 皮質脊髓路                                                                                                                                                                        |
| CRP:                   | cortico-retinal pathway 皮質網様体路                                                                                                                                                                    |
| DP:                    | descending motor-pathways 運動下行路                                                                                                                                                                   |
| TCF:                   | trans-callosal-fiber 経脳梁線維                                                                                                                                                                        |
| i:                     | 病巣と同側 (ipsilateral) c: 病巣と反対側 (contralateral)                                                                                                                                                     |
| ✕                      | は病巣の側を表す。R: 右を示す                                                                                                                                                                                  |
| 図の向きは以下の N で示した向きに準じる。 |                                                                                                                                                                                                   |
| : A に向かう矢印の方向が前方を表す。   |                                                                                                                                                                                                   |
| NDP:                   | 運動下行路の健康者集団での DTT 描出類型 (normal allotype of descending motor-pathways)                                                                                                                             |
| A:                     | 病巣側の運動下行路 (CST、CRP) がいずれも欠損                                                                                                                                                                       |
| B:                     | 病巣側の CST が反対側 CST と比べ細く残存                                                                                                                                                                         |
| C:                     | 病巣側の CRP が反対側 CRP と比べ細く残存                                                                                                                                                                         |
| D:                     | 対側の CRP が病巣側 CRP を代償し細く或いは太く増生                                                                                                                                                                    |
| E:                     | 病巣側の CRP が扇状に細く残存                                                                                                                                                                                 |
| F:                     | 反対側の CRP が扇状に厚く増生                                                                                                                                                                                 |
| G:                     | iDP と cDP との間で、脳梁を通して様々な程度で線維の繋がり (TCF) が認められる<br>類型で、この内、TCF が病巣と同側から出現している場合を iTCF、反対側から出現している場合を cTCF、両側 (bilateral) から出現している場合を bTCF と包括した。<br>白い矢印が病巣側から対側に伸びる TCF、赤い矢印が対側から病巣側に伸びる TCF を表す。 |

法士 (PT, OT) により上田式12段階片麻痺機能テスト (A standardized 12-grade scale (Hemiplegia Function Test): HFT) にて評価

され、以降は A 病院回復期リハ病棟のリハ療法士に引き継がれた。

本研究では、“片麻痺の回復有り” とする定義

## 別表2 運動下行路 (DP) と経脳梁線維 (TCF) の厚みの計測法

手順は、CST の場合、DTT 画像に付設されたメジャーで病巣側・対側それぞれの1次運動野で病巣側・対側それぞれで CST 束の直径 (D) を計測し、束の形態が円柱状の線維の集合体の束であることに留意し、束の横断面積を直径の二乗に円周率( $\pi$ )を掛けて4で割る計算式 ( $\pi D^2/4$ ) で割り出し、iCST 横断面積/cCST 横断面積の比率を百分率 (%) として算出した。

iCRP の形態も、前運動野で同様の方式・計算式により iCRP 横断面積/cCRP 横断面積の比率を百分率 (%) として算出した。

一方、図1の類型Dのように、iCST、cCST、iCRP、cCRP が扇状の形態で表れた場合は、目視で線維の本数を数え、( $\pi \times \text{本数}^2/4$ ) の計算式を使って、推定される総線維数を算出した。A 病院の機器では DTT 画像を4倍に拡大できるので、必要に応じてこの機能を活用し、線維の本数を数えた。正常成人の場合の線維の本数は CST が 994 本、CRP が 1177 本とされていること<sup>9)</sup>からこれを分母にし、それぞれの算出本数を分子に、iCST 本数/994、cCST/994、iCRP 本数/1177、cCRP 本数/1177 で計算し、正常成人との比率を百分率 (%) として表した。

は、HFT で2グレード分以上に相当する回復があった場合と定義した。

これら HFT で得られたグレード値を片麻痺発症時と最終評価 (退院前) 時とで比較した。併せて、参考項目として DTT 撮像時と近接した時点での HFT も評価した。

## 3) 片麻痺回復と運動下行路・代償路の有無との関連の検討法

上肢・手・下肢それぞれに対して DTT 画像を用いて、CST、CRT、TCF の有無と片麻痺回復

との関連性を統計学的に解析した。

また、片麻痺上肢・手・下肢それぞれの片麻痺グレード改善幅と各運動下行路の太さとの関連性があるかについても同様に検討した。

## 4) その他の片麻痺関連の臨床事項の検討法

麻痺側の痙縮は、修正アシュワーススケール (modified Ashworth scale : MAS) を用い評価した。それらの結果をもとに、iCRP が描出されない症例において痙縮が多いかどうかを検討した。

麻痺手の使用頻度・動作の上手さは、Motor

表1 対象症例の臨床状態と経過

| ①発症時の状態               | ②回復期リハビリ入院室時の状態                | ③退院時の運動機能状態                      |
|-----------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| 発症時年齢: 67.5±11.7歳     | 痙縮は軽度 (MAS 1~1+) 9例            | 片麻痺が発症時より回復した例数                  |
| 性別: 男性36例、女性13例       | 中度 (MAS 2) 8例                  | 上肢 35例 (71.4%)                   |
| 病型: 脳出血28例、脳梗塞21例     | 重度 (MAS 3~4) 3例                | 手 33例 (67.3%)                    |
| 病巣側: 右25例、左24例        | 麻痺側の肩関節痛: 8例 (16.3%)           | 下肢 42例 (85.7%)                   |
| 病巣: 被殻 13例 (7例で血腫除去術) | 訓練の支障となる関節拘縮症例: 無し             |                                  |
| 視床10例 中大脳動脈領域 9例      | 認知・行為・コミュニケーション障害: 29例 (59.1%) | 移動: 歩行自立 20例 (40.8%)             |
| 橋 2例 その他 15例          | 内訳 (重複含め) 失語症 13例 (26.5%)      | 監視歩行 6例 (12.2%)                  |
| 利き手: 右47例、左2例         | 注意障害 18例 (36.7%)               | 介助歩行 6例 (12.2%)                  |
| 片麻痺 右 24例 左 25例       | 左半側無視 16例 (32.7%)              | 車椅子 17例 (34.7%)                  |
| 上肢・手・下肢全て完全片麻痺28例     | ブッシャー症候 4例                     |                                  |
| 麻痺側の感覚障害 32例 (65.3%)  | 失認 3例                          |                                  |
| 歩行可能3例 (6.3%)         | 手のMAL: MOU 0.4±0.9             | MOU: 1.5±2.1に有意 (P<0.001) に向上    |
| 麻痺側に感覚障害32例 (65.3%)   | QOMも0.4±0.9                    | QOM: 1.5±2.1に有意 (P<0.001) に向上    |
| 多少でも患手を使用: 2例 (4.1%)  | 運動FIM: 32.7±19.4               | 運動FIM: 57.7±23.7と有意 (p<0.01) に向上 |

MAS: modified Ashworth scale  
FIM: Functional Independence Measure

MAL: Motor Activity Log-14  
AOU: Amount of Use  
QOM: Quality of Movement

表2 脳卒中片麻痺の程度と DTT 類型

| 番号 | 発症時HFT   | 経過中HFT   | 評価病日 | 最終HFT    | 評価病日 | 片麻痺の改善度 |     |      | iCST | 対比(%) | iCRP | 対比(%) | cCRP | 状況(%) | TCF  | 太さ | 撮像日 |
|----|----------|----------|------|----------|------|---------|-----|------|------|-------|------|-------|------|-------|------|----|-----|
|    |          |          |      |          |      | (上肢)    | (手) | (下肢) |      |       |      |       |      |       |      |    |     |
| 1  | 0/1/0    | 3/7/7    | 31   | 7/12/12  | 131  | 7       | 11  | 12   | 有り   | 26.7  | —    | —     | —    | —     | cTCF | 細い | 31  |
| 2  | 0/0/0    | 0/0/3    | 47   | 0/0/4    | 145  | 0       | 0   | 4    | —    | —     | —    | —     | —    | —     | —    | —  | 48  |
| 3  | 0/0/0    | 1/0/1    | 48   | 6/7/8    | 204  | 6       | 7   | 8    | 有り   | 69.3  | 有り   | 70.1  | 有り   | 22.3  | iTCF |    | 51  |
| 4  | 0/0/0    | 1/4/7    | 37   | 8/12/11  | 153  | 8       | 12  | 11   | 有り   | 33.7  | 有り   | 50.3  | —    | —     | —    | —  | 37  |
| 5  | 0/0/0    | 1/10/1   | 30   | 8/10/10  | 111  | 8       | 10  | 10   | 有り   | 90.2  | 有り   | 94.6  | 有り   | 74.7  | —    | —  | 27  |
| 6  | 0/0/0    | 3/0/3    | 78   | 9/9/11   | 183  | 9       | 9   | 11   | 有り   | 16.7  | 有り   | 44.4  | 有り   | 110   | bTCF | 太い | 74  |
| 7  | 0/0/0    | 4/3/6    | 70   | 4/3/12   | 135  | 4       | 3   | 12   | —    | —     | —    | —     | 有り   | 70.8  | cTCF | 細い | 83  |
| 8  | 7/6/10   | 7/10/11  | 41   | 10/10/11 | 143  | 3       | 4   | 1    | 有り   | 91.5  | —    | —     | —    | —     | cTCF | 太い | 85  |
| 9  | 0/0/0    | 3/0/10   | 34   | 6/8/8    | 104  | 6       | 8   | 8    | —    | —     | 有り   | 22.5  | 有り   | 81.7  | —    | —  | 30  |
| 10 | 6/6/6    | 6/8/8    | 56   | 8/10/10  | 185  | 2       | 4   | 4    | 有り   | 20.4  | 有り   | 14.3  | 有り   | 2.9   | —    | —  | 120 |
| 11 | 7/8/0    | 7/10/2   | 41   | 10/12/6  | 118  | 3       | 4   | 6    | 有り   | 66.7  | —    | —     | 有り   | 24.6  | —    | —  | 54  |
| 12 | 0/0/0    | 0/0/1    | 44   | 4/7/3    | 124  | 4       | 7   | 3    | 有り   | 20.1  | —    | —     | 有り   | 0.1   | —    | —  | 49  |
| 13 | 3/0/3    | 3/0/3    | 24   | 4/4/6    | 138  | 1       | 4   | 3    | 有り   | 40.6  | —    | —     | —    | —     | —    | —  | 84  |
| 14 | 0/0/8    | 0/3/10   | 37   | 1/6/11   | 116  | 1       | 6   | 3    | —    | —     | 有り   | 25.7  | 有り   | 0.1   | iTCF | 細い | 41  |
| 15 | 0/0/1    | 3/0/3    | 23   | 3/3/6    | 90   | 3       | 3   | 5    | —    | —     | 有り   | 0.1   | 有り   | 0.1   | —    | —  | 47  |
| 16 | 0/0/0    | 3/0/3    | 24   | 4/4/6    | 137  | 4       | 4   | 6    | 有り   | 36.7  | 有り   | 0.1   | 有り   | 0.2   | —    | —  | 26  |
| 17 | 0/0/1    | 3/0/3    | 89   | 1/0/4    | 114  | 1       | 0   | 3    | —    | —     | —    | —     | —    | —     | —    | —  | 67  |
| 18 | 0/0/0    | 0/0/1    | 41   | 0/0/3    | 219  | 0       | 0   | 3    | —    | —     | —    | —     | —    | —     | iTCF | 細い | 150 |
| 19 | 3/0/10   | 4/4/11   | 84   | 7/7/11   | 162  | 4       | 7   | 1    | 有り   | 0.1   | 有り   | 0.1   | —    | —     | iTCF | 細い | 56  |
| 20 | 0/0/0    | 0/2/4    | 60   | 0/2/4    | 194  | 0       | 2   | 4    | —    | —     | —    | —     | —    | —     | —    | —  | 59  |
| 21 | 0/0/1    | 1/0/6    | 60   | 3/0/7    | 155  | 3       | 0   | 6    | —    | —     | —    | —     | —    | —     | —    | —  | 61  |
| 22 | 0/0/0    | 6/1/6    | 46   | 6/1/7    | 100  | 6       | 1   | 7    | 有り   | 10.4  | —    | —     | 有り   | 60    | —    | —  | 55  |
| 23 | 0/0/0    | 3/0/3    | 45   | 3/3/3    | 97   | 3       | 3   | 3    | 有り   | 57.8  | —    | —     | 有り   | 0.1   | —    | —  | 97  |
| 24 | 0/0/0    | 1/1/1    | 67   | 1/1/1    | 180  | 1       | 1   | 1    | —    | —     | —    | —     | 有り   | 5     | —    | —  | 72  |
| 25 | 0/0/0    | 1/1/3    | 48   | 4/4/3    | 124  | 4       | 4   | 3    | 有り   | 10.1  | —    | —     | —    | —     | —    | —  | 48  |
| 26 | 6/8/10   | 12/12/10 | 70   | 12/12/11 | 118  | 6       | 4   | 1    | 有り   | 96.3  | —    | —     | —    | —     | —    | —  | 70  |
| 27 | 3/0/3    | 4/3/3    | 61   | 6/3/6    | 159  | 3       | 3   | 3    | —    | —     | —    | —     | 有り   | 154   | —    | —  | 47  |
| 28 | 8/8/8    | 8/8/8    | 43   | 10/10/10 | 149  | 2       | 2   | 2    | 有り   | 62.5  | 有り   | 33.8  | 有り   | 0.1   | —    | —  | 44  |
| 29 | 0/0/1    | 0/0/6    | 86   | 0/0/8    | 255  | 0       | 0   | 5    | 有り   | 33.3  | 有り   | 0.1   | 有り   | 5.4   | —    | —  | 84  |
| 30 | 8/8/8    | 11/10/9  | 52   | 11/11/10 | 108  | 3       | 3   | 2    | 有り   | 80.9  | 有り   | 85.9  | 有り   | 33    | cTCF | 細い | 51  |
| 31 | 0/0/0    | 1/0/3    | 44   | 3/3/6    | 163  | 3       | 3   | 6    | —    | —     | —    | —     | 有り   | 10.4  | —    | —  | 30  |
| 32 | 0/0/3    | 3/0/6    | 23   | 7/10/10  | 162  | 7       | 10  | 7    | 有り   | 1.3   | 有り   | 25.1  | 有り   | 8.1   | —    | —  | 23  |
| 33 | 0/0/0    | 3/0/3    | 39   | 3/0/3    | 169  | 3       | 0   | 3    | —    | —     | —    | —     | 有り   | 0.2   | cTCF | 細い | 34  |
| 34 | 8/8/8    | 10/10/10 | 16   | 10/10/12 | 94   | 2       | 2   | 4    | 有り   | 92.1  | 有り   | 0.1   | 有り   | 10.8  | —    | —  | 24  |
| 35 | 9/11/9   | 11/11/10 | 34   | 11/11/12 | 136  | 2       | 0   | 3    | 有り   | 25.9  | 有り   | 0.1   | 有り   | 0.1   | —    | —  | 15  |
| 36 | 0/0/0    | 6/7/7    | 36   | 10/11/8  | 116  | 10      | 11  | 8    | 有り   | 16.7  | 有り   | 0.1   | 有り   | 101   | —    | —  | 88  |
| 37 | 0/0/0    | 1/0/6    | 48   | 2/0/6    | 108  | 2       | 0   | 6    | 有り   | 0.7   | 有り   | 0.1   | 有り   | 125   | cTCF | 細い | 48  |
| 38 | 0/0/0    | 0/0/3    | 99   | 0/0/0    | 147  | 0       | 0   | 0    | —    | —     | —    | —     | —    | —     | —    | —  | 82  |
| 39 | 0/0/0    | 0/0/3    | 33   | 0/0/4    | 170  | 0       | 0   | 4    | 有り   | 1.4   | —    | —     | 有り   | 26.7  | —    | —  | 48  |
| 40 | 0/0/0    | 1/3/6    | 50   | 4/3/6    | 127  | 4       | 3   | 6    | —    | —     | —    | —     | 有り   | 52.3  | —    | —  | 42  |
| 41 | 0/0/0    | 3/0/3    | 38   | 1/0/6    | 164  | 1       | 0   | 6    | —    | —     | —    | —     | 有り   | 167   | —    | —  | 38  |
| 42 | 0/0/0    | 0/0/0    | 45   | 0/0/0    | 101  | 0       | 0   | 0    | —    | —     | —    | —     | —    | —     | —    | —  | 49  |
| 43 | 0/0/0    | 3/3/3    | 55   | 3/3/4    | 264  | 3       | 3   | 4    | 有り   | 0.3   | —    | —     | —    | —     | —    | —  | 60  |
| 44 | 0/0/0    | 1/1/1    | 30   | 4/4/6    | 298  | 4       | 4   | 6    | —    | —     | 有り   | 38.5  | 有り   | 45.1  | —    | —  | 25  |
| 45 | 11/10/10 | 12/11/10 | 79   | 12/12/11 | 118  | 1       | 2   | 1    | 有り   | 62.5  | —    | —     | —    | —     | —    | —  | 70  |
| 46 | 11/11/10 | 12/12/10 | 46   | 12/12/12 | 90   | 1       | 1   | 2    | 有り   | 97.5  | 有り   | 92.3  | 有り   | 68.7  | bTCF | 細い | 79  |
| 47 | 0/0/4    | 6/1/6    | 79   | 6/6/6    | 166  | 6       | 6   | 2    | 有り   | 0.3   | —    | —     | —    | —     | —    | —  | 91  |
| 48 | 0/0/0    | 3/0/3    | 58   | 3/0/6    | 245  | 3       | 0   | 6    | 有り   | 0.1   | —    | —     | —    | —     | —    | —  | 59  |
| 49 | 8/8/3    | 8/8/6    | 27   | 12/12/10 | 114  | 4       | 4   | 7    | 有り   | 0.1   | 有り   | 70.6  | 有り   | 0.3   | bTCF | 細い | 36  |

HFT: Hemiplegia Function Test（上肢/手/下肢）

iCST: ipsilateral corticospinal tract

iCRP: ipsilateral corticoretinal pathway

cCRP: contralateral corticoretinal pathway

TCF: transcallosal fiber

iTCF: TCF from ipsilateral to the lesion side

cTCF: TCF from contra lateral to the lesion side

bTCF: TCF from bilateral side

Activity Log-14 (MAL-14)の AOU (Amount of Use), QOM (Quality of Movement) で評価し、回復期リハ病棟に入室時と最終転帰 (退院) 時点とで比較した。

ADL は、Functional Independence Measure (FIM)を用い評価した。この内、運動 FIM の合計点 (最低点13点, 満点91点) を、MAL-14の場合と同様の時点での比較に用いた。

### 5) リハビリテーションの方法

いずれの症例にも、急性期病棟・回復期リハ病棟でのほぼ切れ目のないリハ (理学療法, 作業療法, 言語療法, 摂食機能療法, 装具療法, 病棟看護・介護) が、症状に応じた組み合わせで行われた。

### 6) 統計学的検定の方法

統計検定は、各運動下行路 (CST, CRT) の残存の有無と麻痺改善との関係、分離運動の有無と TCF 出現との関係についてカイ二乗検定を用い、麻痺の改善度と各運動下行路の太さとの関連性については Mann-Whitney の U 検定, FIM 値・MAL 値の変化についてはウィルコクソンの符号付き順位検定を用いた。いずれも 5 %を有意

水準とした。

### 7) 倫理上の配慮

研究遂行にあたり A 病院の倫理委員会の承認 (承認番号: 202304)を得るとともに、DTT 撮像は患者或いは家族の同意を得て行った。

## 結 果

### 1) 対象症例の臨床状態と経過

表 1 に、①発症時の状態、②回復期リハ病棟入室時の状態、③最終評価時の順で、運動機能状態の変化および関連事項を示した。

### 2) 片麻痺と DTT 類型との関連性の検討結果

HFT は発症時、DTT 撮像時に近接した時点 (平均 $49.4 \pm 19.4$ 病日), 最終評価時 (平均 $148.7 \pm 47.7$ 病日) の計 3 度評価された。これら HFT 評価結果と DTT 描出 (平均 $56.9 \pm 26.4$ 病日に施行) と解析した結果の一覧データを表 2 に掲げた。

以下に、表 2 で示されたデータを統計学的に検定・解析した結果を中心に示す。

### ① 運動下行路残存・代償路の有無と片麻痺回復

表 3 に示すように、片麻痺の回復が上肢・手指・下肢の内いずれか 1 ~ 3 部位で認められる症

表 3 脳卒中片麻痺者の回復期の DTT 上・下行路残存と代償路の有無と片麻痺回復

|                       | 病巣側CST・CRP・対側CRPのいずれか有り | 病巣側CST・CRP・対側CRPのいずれも無し | 計  |
|-----------------------|-------------------------|-------------------------|----|
| 上肢・手・下肢いずれかで片麻痺改善有り * | 41                      | 5                       | 46 |
| いずれでも片麻痺改善無し          | 1                       | 2                       | 3  |
| 計                     | 43                      | 6                       | 49 |
| 片麻痺上肢改善有り **          | 34                      | 1                       | 35 |
| 片麻痺上肢改善無し             | 8                       | 6                       | 14 |
| 計                     | 44                      | 5                       | 49 |
| 片麻痺手改善有り *            | 32                      | 1                       | 33 |
| 片麻痺手改善無し              | 10                      | 6                       | 16 |
| 計                     | 41                      | 8                       | 49 |
| 片麻痺下肢改善有り *           | 42                      | 4                       | 46 |
| 片麻痺下肢改善無し             | 1                       | 2                       | 3  |
| 計                     | 43                      | 6                       | 49 |

DTT : Diffusion Tensor Tractography 拡散テンソルトラクトグラフィー

CST : Corticospinal Tract 皮質脊髄路 CRP : Corticoreticular Pathway 皮質網様体路

カイ二乗検定で有意差あり

\*  $P < 0.05$  \*\*  $P < 0.01$

表4 脳卒中片麻痺者の回復期 DTT 上の皮質網様体路残存と上肢麻痺の回復

|            | 病巣側・対側・両側<br>いずれかでCRP有り | 病巣側・対側<br>いずれにもCRP無し | 計  |
|------------|-------------------------|----------------------|----|
| 片麻痺の上肢改善あり | 27                      | 5                    | 32 |
| 片麻痺の上肢改善なし | 8                       | 9                    | 17 |
| 計          | 35                      | 14                   | 49 |

DTT：Diffusion Tensor Tractography 拡散テンソルトラクトグラフィー  
CRP：Corticoreticular Pathway 皮質網様体路

カイ二乗検定で有意差あり  
P<0.01

表5 脳卒中片麻痺者の回復期拡散テンソルトラクトグラフィー(DTT)による  
各下行路・経脳梁繊維(TCF)描出の有無と麻痺回復

| DTTによる各経路の描出                                                                                                                      |      |    |    |    |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|----|----|----|----|
|                                                                                                                                   | 有り   | 無し | 計  |    |    |
| 上肢麻痺<br>改善有り                                                                                                                      | iCST | 25 | 9  | 34 | ** |
|                                                                                                                                   | iCRP | 18 | 17 | 35 |    |
|                                                                                                                                   | cCRP | 26 | 10 | 36 |    |
|                                                                                                                                   | iTCF | 3  |    |    |    |
|                                                                                                                                   | cTCF | 5  |    |    |    |
|                                                                                                                                   | bTCF | 2  |    |    |    |
| 上肢麻痺<br>改善無し                                                                                                                      | iCST | 5  | 10 | 16 | ** |
|                                                                                                                                   | iCRP | 3  | 11 | 14 |    |
|                                                                                                                                   | cCRP | 4  | 9  | 13 |    |
|                                                                                                                                   | iTCF | 2  |    |    |    |
|                                                                                                                                   | cTCF | 0  |    |    |    |
|                                                                                                                                   | bTCF | 1  |    |    |    |
| iCST: ipsilateral corticospinal tract<br>iCRP: ipsilateral corticoretinal pathway<br>cCRP: contralateral corticoretinal pathway   |      |    |    |    |    |
| DTTによる各経路の描出                                                                                                                      |      |    |    |    |    |
|                                                                                                                                   | 有り   | 無し | 計  |    |    |
| 手の麻痺<br>改善有り                                                                                                                      | iCST | 24 | 10 | 34 | ** |
|                                                                                                                                   | iCRP | 17 | 16 | 33 |    |
|                                                                                                                                   | cCRP | 21 | 11 | 32 |    |
|                                                                                                                                   | iTCF | 3  |    |    |    |
|                                                                                                                                   | cTCF | 4  |    |    |    |
|                                                                                                                                   | bTCF | 2  |    |    |    |
| 手の麻痺<br>改善無し                                                                                                                      | iCST | 6  | 9  | 15 | ** |
|                                                                                                                                   | iCRP | 4  | 12 | 16 |    |
|                                                                                                                                   | cCRP | 9  | 8  | 17 |    |
|                                                                                                                                   | iTCF | 1  |    |    |    |
|                                                                                                                                   | cTCF | 2  |    |    |    |
|                                                                                                                                   | bTCF | 1  |    |    |    |
| iTCF: TCF from ipsilateral to the lesion side<br>cTCF: TCF from contralateral to the lesion side<br>bTCF: TCF from bilateral side |      |    |    |    |    |
| DTTによる各経路の描出                                                                                                                      |      |    |    |    |    |
|                                                                                                                                   | 有り   | 無し | 計  |    |    |
| 下肢麻痺<br>改善有り                                                                                                                      | iCST | 26 | 15 | 41 | ** |
|                                                                                                                                   | iCRP | 21 | 21 | 42 |    |
|                                                                                                                                   | cCRP | 29 | 13 | 42 |    |
|                                                                                                                                   | iTCF | 4  |    |    |    |
|                                                                                                                                   | cTCF | 6  |    |    |    |
|                                                                                                                                   | bTCF | 3  |    |    |    |
| 下肢麻痺<br>改善無し                                                                                                                      | iCST | 4  | 4  | 8  | ** |
|                                                                                                                                   | iCRP | 3  | 4  | 7  |    |
|                                                                                                                                   | cCRP | 1  | 6  | 7  |    |
|                                                                                                                                   | iTCF | 0  |    |    |    |
|                                                                                                                                   | cTCF | 0  |    |    |    |
|                                                                                                                                   | bTCF | 0  |    |    |    |
| カイ二乗検定で有意差あり<br>* P<0,05      ** P<0,01（これら以外はN.S）                                                                                |      |    |    |    |    |

例では、iCST、iCRP、cCRP のいずれか描出が有れば、これらがいずれも無い症例に比べ、片麻痺の回復が有意に得られた。

また、同様に iCST、iCRP、cCRP のいずれかが描出されておれば、上肢・手・下肢の内いずれか1～3部位で、これら運動下行路・代償路いずれも無い場合に比べ、片麻痺回復が有意に上肢、手、下肢の各部位それぞれに得られた。

逆に、iCST、iCRP、cCRP のいずれも描出されていない6例では上肢・手ともに片麻痺の回復は無かった。下肢では2例で回復が無かった。

表4に示すように、上肢は、病巣側・対側・両側いずれかでCRP描出があれば、病巣側・対側

いずれにもCRP描出が無い場合に比べ麻痺回復が有意に得られた。表5に示すように、iCST描出があれば、無い場合に比べて上肢麻痺の回復が有意に得られた。同様に、cCRP描出があれば、無い場合に比べ、有意に麻痺の回復が得られた。

片麻痺の手の回復は、iCSTの描出があれば、無い場合に比べて有意に得られた。片麻痺下肢の回復は、cCRPが描出されている場合、無い場合に比べて有意（P<0.01）に得られた。

② 麻痺の改善度と運動下行路の太さとの関連

下肢の回復は、正常との対比が10%以上の太さ（或いは線維数）のcCRPをもつ群においてはグレード改善幅が4.1±1.8であった。これを正常対

比が10%未満の細い（或いは線維数の少ない）cCRP 群のグレード改善幅 $1.4 \pm 2.6$ と比べると、有意（ $P < 0.02$ ）に大きかった。

同様の解析を、上肢の iCRP、手の iCST で行ったが、麻痺の改善度と各運動下行路の太さ（或いは線維数）とは有意の関連は得られなかった。

### ③ 麻痺肢の分離運動出現と TCF との関連

HFT ではグレードで 7 以上のレベルで分離運動が出現し始めていると判断される。発症時に分離運動が上肢・手・下肢いずれか一部位以上に認められた症例は10例のみであったが、リハ病棟入室時には15例に増え、退院時には25例に増えた。発症時に上肢・手・下肢いずれにも分離運動がなかったが退院時に上肢・手・下肢いずれか一部位以上で新たに分離運動が可能となった症例が12例あり、これらの内 6 例（50.0%）では TCF がみられた。一方、退院時にどの部位にもいっさい分離運動が出現しなかった23例での TCF 出現は 3 例（11.5%）に留まり、有意に少なかった。

### ④ 運動下行路・代償路いずれも無しの症例の片麻痺転帰

iCST, iCRP, cCRP, TCF のいずれも描出されなかった 6 例においては、全例で手のグレードの向上がなかった。一方、上肢では 6 例中 2 例で僅かな回復がみられ共にグレード 0 から 2 へ、もう 1 例では 0 から 3 へと向上した。下肢では 6 例中 4 例で回復がみられ、内訳は各グレード 0 から 4 へ、1 から 4 へ、1 から 6 へ、1 から 7 へと向上した。

### ⑤ 痙縮と iCRP との関係

iCRP 描出がなかった28例のうち痙縮がみられたのは11例（39.3%）に留まり、痙縮の有無と iCRP の有無とは関連性が認められなかった。

## 考 察

損傷を受けた運動下行路の再建には、病巣側下行路の存在、病巣周辺での下行経路の増生、対側下行路の存在・増生が必要で、これら運動下行路（とくに CST）再建・増生の過程では TCF の活用が重要と考えられた。

片麻痺手の随意性については病巣側の CST の描出があれば、無い場合に比べて有意に回復が得られていた。一方、片麻痺上肢・下肢の随意性については、上肢・下肢が対側 CRP 支配も受けており<sup>9)</sup>、手のように CST だけの支配ではないこと<sup>9)</sup>からも、単純な考察はできないと考えられた。

TCF については、脳卒中片麻痺の回復経過と合わせた症例報告の 6 論文<sup>1-6)</sup>でその役割が論じられている。片麻痺型の脳性麻痺では、片麻痺が改善し巧緻性が増すためには TCF の役割が重要になると指摘されている<sup>10)</sup>。また、近年、半球間の協調や競合について、対側半球との関連で論じられている<sup>11-12)</sup>。TCF の発達過程<sup>13)</sup>や役割<sup>14)</sup>、脳卒中の上肢機能回復における TCF の役割<sup>15)</sup>についても論じられている。これらの点からも、我々が分類しているように、TCF が病巣側から伸びているのか、反対側から伸びてくるのか、或いは双方向から伸びてくるのかは、重要な検討事項と考える。実際、6 論文<sup>1-6)</sup>では、iTcf が 2 例、cTcf が 2 例に認められている。iTcf か cTcf かは不明だが TCF が認められたのが 1 例、前額断が示されておらず存在不明なものが 1 例であった。一方、これらの文献では、bTcf の報告はみられなかった。これら TCF の出現時期も発症から 2 週～10か月とまちまちで、今後これら TCF の出現時期やその形態変化を追跡していくことが大切になると思われる。同様に、CST や CRP について

もどう消長していくかも追跡していく必要がある。

今回, cCRP が太い (或いは線維数の多い) 群のほうが細い (或いは線維数の少ない) 群と比べ有意に片麻痺の下肢の回復が大きかった。この結果は, iCRP が太くなるほど足関節背屈筋力が増大したという症例経過を観察しての Jang らの推測<sup>16)</sup>を裏付けるものではないかと考えられる。

運動下行路の損傷・回復状況と痙縮との関連性<sup>17)</sup>については, 今回明らかにできなかった。痙縮は単純ではなく, 複雑な背景のもとで現れると考えられた。

本研究に開示すべき利益相反状態はない。

## 文 献

- 1) Seo JP, Jang SH: Recovery of the corticospinal tracts injured by subfalcine herniation: a diffusion tensor tractography study. *Neural Regen* 2014 Jun 15; 9(12) :1231-3. doi: 10.4103/1673-5374.135331.
- 2) Jang SH, Yeo SS: Recovery of an injured corticoreticular pathway via transcallosal fibers in a patient with intracerebral hemorrhage. *BMC Neurol*. 2014 May 19; 14: 108. doi: 10.1186/1471-2377-14-108.
- 3) Chang MH, et al: Motor recovery via transcallosal and transpontine fibers in a patient with intracerebral hemorrhage. *Am J Phys Med Rehabil*. 2014
- 4) Jang SH, Kwon HG: Recovery of an injured corticospinal tract during the early stage of rehabilitation following pontine infarction. *Neural Regen Res*. 2016 Mar; 11(3): 519-20. doi: 10.4103/1673-5374.179080
- 5) Jang SH, et al : Recovery of an Injured corticoreticulospinal Tract in a Patient With Cerebral Infarct. *Ann Rehabil Med*. 2017 Jun; 41(3): 516-517. doi:10.5535/arm.2017.41.3.516
- 6) Jang SH, et al: Recovery of an injured corticospinal tract via an unusual pathway in a stroke patient: Case report. *Medicine (Baltimore)*. 2019 Feb; 98(7): e14307.
- 7) Jang SH, et al. Functional role of the corticoreticular pathway in chronic stroke patients. *Stroke*. 2013; 44(4): 1099-1104
- 8) Yoo JS, et al: Characteristics of injury of the corticospinal tract and corticoreticular pathway in hemiparetic patients with putaminal hemorrhage. *BMC Neurology* 2014; volume 14 (2): 121. doi: 10.1186/1471-2377-14-121.
- 9) Jang SH, Lee SJ: Cortico-reticular Tract in the Human Brain: A Mini Review, *Front. Neurol.*, 12 November 2019
- 10) Martinez CS. et al: the impact of brain lesion characteristics and the corticospinal tract wiring on mirror movements in unilateral cerebral palsy. *Scientific Reports* volume 12, Article number: 16301 (2022)
- 11) Dodd KC, et al : Role of the Contralesional vs. Ipsilesional Hemisphere in Stroke Recovery. *MINI REVIEW article Front. Hum. Neurosci.*, 21 September 2017 *Sec. Motor Neuroscience* Volume 11-2017 | <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00469>
- 12) Buetefisch CM: Role of the contralesional hemisphere in post-stroke recovery of upper extremity motor function. *Front Neurol*. 2015; 6: 214. Published online 2015 Oct 16. doi: 10.3389/fneur.2015.00214
- 13) Kwon HG, et al :Development of the transcallosal motor fiber from the corticospinal tract in the human brain: diffusion tensor imaging study. *Front Hum Neurosci*. 2014; 8: 153
- 14) Jang WH, et al: Transcallosal Ipsilateral Motor Pathway from the Unaffected Hemisphere in a Patient with Traumatic Brain Injury. *J Korean Soc Phys Ther* 2014; 26(3): 216-219
- 15) Stewart JC, et al: Role of corpus callosum integrity in arm function differs based on motor severity

- after stroke. *Neuroimage: Clinical* 14 (2017) 641-647.
- 16) Jang SH, Cho MJ: Role of the Contra-Lesional Corticoreticular Tract in Motor Recovery of the Paretic Leg in Stroke: A Mini-Narrative Review. *Front Hum Neurosci.* 2022; 16: 896367
- 17) Ko SH, et al: Corticoreticular Pathway in Post-Stroke Spasticity: A Diffusion Tensor Imaging Study. *J Pers Med.* 2021 Nov 4; 11(11): 1151.