

## Case Report

# 促通反復療法を含む1か月の集中リハビリテーションによって皮質脊髄路と皮質網様体路に変化がみられた発症後5年の脳卒中片麻痺の2例

木佐俊郎,<sup>1,2</sup> 加藤三千夫,<sup>3</sup> 酒井康生,<sup>2</sup> 間口大公,<sup>1,2</sup>  
内田麻貴子,<sup>4</sup> 川角久美子,<sup>4</sup> 石原広崇,<sup>4</sup> 大田 誠<sup>1,5</sup>

<sup>1</sup>松江生協病院リハビリテーション科  
<sup>2</sup>島根大学医学部リハビリテーション医学講座  
<sup>3</sup>松江生協病院放射線技術科  
<sup>4</sup>松江生協病院リハビリテーション室  
<sup>5</sup>松江生協病院脳神経内科

### 要旨

Kisa T, Kato M, Sakai Y, Maguchi T, Uchida M, Kawasumi K, Ishihara H, Ohta M. Two cases of hemiplegia at 5 years post-stroke onset showing changes in corticospinal and cortico-reticular pathways after 1 month of intensive rehabilitation including repetitive facilitative exercise. Jpn J Compr Rehabil Sci 2025; 16: 60-67.

【背景】脳卒中片麻痺の回復期に拡散テンソルトラクトグラフィー (DTT) を追跡した症例報告はあるが、慢性期での報告はない。

【症例】発症より5年を経過した脳卒中片麻痺2例に促通反復療法とフェノールブロックを含む1か月の集中リハビリテーション治療（集中リハ）を行い、痙縮と麻痺の改善を得た。集中リハ前後にDTTで明らかな変化を認めた。両例とも、治療前に病巣側の皮質脊髄路 (CST) が描出されていなかったが、治療後にはCSTは起始部が一次運動野領域に描出され下方に延伸していた。第1例では5年間で経脳梁線維 (TCF) と経橋線維 (TPF) が対側から病側半球へ伸びて、DP (運動下行路) のうち皮質網様体路 (CRP) が病巣側・対側とも増えていた（とくに病巣側において）が、治療後は病巣側・対側とともにCRPが減少した。第2例ではTCFが密となり対側のCRPが著増した。

【考察】DTTの変化を追跡した症例報告は、これまで全てが片麻痺発症1年以内であった。今回は、5年を経過した陳旧例であり、集中リハにより短期間で

---

著者連絡先：木佐俊郎  
 松江生協病院リハビリテーション科  
 〒690-8522 島根県松江市西津田8-8-8  
 E-mail : t-kisa@japan.email.ne.jp  
 2025年10月20日

利益相反：本報告に開示すべき利益相反状態はない

 This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial NoDerivatives International License.

©2025 Kaifukuki Rehabilitation Ward Association

上肢と手の運動機能が向上したばかりでなく、DTT上でも機能変化を裏付けるような画像変化が生じた。

【結論】脳卒中片麻痺の陳旧例におけるDTTの集中リハ前後を撮像して変化を追跡した報告は初めてである。CSTの新たな描出、CRPの増加、TCFの出現など変化の殆どは、1年以内の回復期例の集積から得た作業仮説に沿っていたが、1症例で治療後にCRPが減少した。この結果は作業仮説には無かった新知見と考えられ、考察を加え報告した。

**キーワード：**脳卒中片麻痺、慢性期、機能回復、拡散テンソルトラクトグラフィー、促通反復療法

### はじめに

脳損傷後の軸索の変化を描出できる拡散テンソルトラクトグラフィー (diffusion tensor tractography: DTT) は可塑性の検討手段として注目されている [1]。脳卒中後の片麻痺の回復においては、6つの運動下行路 (descending motor-pathways: DP) のうち大脳皮質運動野から発する2つの運動下行路が重要である [2]。皮質脊髄路 (cortico-spinal tract: CST) は一次運動野 (Brodmann領域4) から発し、対側の四肢遠位部の関節（手指、手首、足趾、足首）の随意運動を制御する。皮質網様体路 (cortico-reticular pathway: CRP) は運動前皮質・補足運動野 (Brodmann領域6) から発し、経脳梁線維 (trans-callosal fibers: TCF) と連結し、経橋線維 (trans-pontine fibers: TPF) とは間接的に連結し、対側の四肢近位部の関節（肩、肘、体幹、股、膝）の随意運動を制御する。CRPは、さらに、大脳基底核からの脱抑制とともに網様体脊髄路を活動させ、両側性に体幹・上下肢の軸性や筋緊張を調整する姿勢制御を行う。CRPは皮質脊髄路と異なり両側性に運動を支配する運動下行路なので、片麻痺の近位部の随意運動回復過程において重要な代償路となる [2]。

代償路という視点からは、経脳梁線維 (trans-callosal fibers: TCF) と経橋線維 (trans-pontine fibers: TPF) も重要となる。

脳梁は両側の運動野間での情報伝達、対側半球への

抑制的信号伝達、一方の運動経験を他方に伝え運動学習・計画の共有を行う役割をもち、TCF は損傷側の運動を支援するために形成される代償路となる [2]。TPF は橋を横断する神経線維の束で、大脳皮質と小脳間の情報を伝達する役割を持ち、CST が重度に損傷している症例では、CST の代償路となる [3]。

脳卒中片麻痺の回復期に複数回 DTT を撮像し変化をみた症例報告は、Yang ら [4] が最初で以降は Seo ら [5] など、7 編ある。しかしこれらはいずれも単例報告であり、片麻痺回復における DTT の動態の法則性を論じた内容ではない。

そこで我々は、脳卒中片麻痺の回復期に複数回 DTT を撮像した症例を集積し、DTT の動態に法則性があるか以下の作業仮説を設定し検証中であった。すなわち、片麻痺の回復には 1) CST の病巣側での再建・増生、2) TCF や TPF を介した CST の代償的な対側支配、3) CRP の病巣側での再建・増生、4) 対側 CRP の増生、5) 1~4 は線維の新生・増加で達せられる、である。

この仮説を検証中に、発症より 5 年を経過した脳卒中片麻痺 2 例に、促通反復療法 [6] やフェノールブロック (Phenol block: PB) を含む 1 か月間の集中的リハビリテーション治療を行い、その前後の DTT 撮像を経験した。

この経験を通し、①作業仮設 5) については修正が必要なこと（→線維の増加が転じて減少整理される場合がある）を認めたこと、②発症後 1 年以上の陳旧例（今回、5 年）にリハビリテーション治療を行って短期間での DTT の変化を認めた報告はないこと、以上の 2 点が新しい知見と考えられるので報告する。

### 症例 1 70 歳代 男性 右利き

5 年前に橋右側の脳梗塞による左片麻痺を発症し、発症後 19 日に当院の回復期リハビリテーション（以下リハと略す）病棟に、麻痺レベルが Hemiplegic Function Test (HFT) [7] にて上肢 2 手指 2 下肢 3、FIM が全 91 運動 58、認知 33 で入院した。発症後 4 か月の退院時には、HFT が上肢 6 手指 3 下肢 7、FIM が全 122、運動 87、認知 35 となって自宅退院した。退院後、通所リハを週 1 回受け、歩行は左短下肢装具装着下で屋外は 4 点杖使用で自立していた。

発症後 5 年より上肢と手の痙攣が強まり、PB を含む 1 か月間の集中リハを希望して当院へ再入院した。

リハ治療開始時、Fugl-Meyer Assessment (FMA) 上肢 20 (点)、HFT は上肢 6 手指 0 で、加えて左上肢・手指の麻痺と痙攣による運動の制限が著明であった。関節可動域（以下、他動：P-ROM、自動：A-ROM）は、表 1 に示すように P-ROM と A-ROM に制限があった。肩屈曲、肘伸展、母指掌側外転にも同様の制限があり、II 指と母指との指尖つまみは不能であった。左上肢・手指の痙攣は Modified Ashworth Scale (MAS) で肩外転、肘伸展、前腕回外、手関節背屈、II-V 指 MP 伸展時に 1~2 であった。FIM は全 108、運動 73、認知 35 であった。

#### 1. 治療

集中リハは計 1 時間の治療時間で促通反復療法、

装具療法（I-II 指ピンチ動作目的に弾性 C バー、各指 PIP 伸展目的に弾性テープでのテーピング）、随意運動の促進に随意運動介助電気刺激 (IVES)、動作時の痙攣緩和に振動療法、右一次運動野への経頭蓋直流電気刺激 (tDCS) を 2mA で 20~40 分を週 3 回、そして従来法を行った。

PB は文献 [8] を参考に、電気刺激で筋収縮を確認し、5% フェノールを注入した。治療対象は左上肢の肘屈筋、手根屈筋、手指屈筋などである。

治療効果の評価は HFT や MAS に加えて FMA、簡易上肢機能検査 (STEF) [9]、HFT、Motor Activity Log (MAL) を用いた。

集中リハによる運動機能の変化を、DP (CST と CRP) の再構築（線維量あるいは走行の変化）・TCF や TPF の変化として捉えられるかどうかを探索的に調べる目的で DTT を用いた。DTT の撮像は、運動下行路を描出に Ingenia 1.5T (Philips 社) ds Head-Neck-coil を、画像処理に同装置に附属の「Fiber Tracking Application」を用いた。DTT の関心領域 (range of interest: ROI) は文献 [2] 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・橋延髓網様体と定めた。TCF・TPF については、CST と CRP がそれぞれの ROI で定められている条件下、両線維がそれぞれ代償路として機能しておれば、自動的に描出されるので、ROI を別途に設定する必要はなかった。

DTT の正常基準は Jang ら [10]、Yoo ら [11] による健常者の運動下行路描出図 (normal allotype of descending motor-pathways: NDP) を参考にした。Jang ら [12] の総説では健常者の DP は平均で CST994 本、CRP1177 本であったとされている。本院では DP の線維数を自動的に算出するソフトが無く、DTT 上で DP が扇状の場合は DTT 画像を 4 倍に拡大し目視で線維の本数を数え、Kisa らの計算式 [2] ( $\pi \times \text{本数}^2 / 4$ ) にて線維数の推定値を算出した。DP 線維が束状になっている場合は付設されたメジャーワークで直径を mm 単位で計測し ( $\pi \times \text{束の直径}^2 / 4$ ) に入力して線維数の推定値を算出した。これら推定線維数の治療前後の変化を比較し、線維数の増減の判断材料とした。

この算出法の妥当性については、以下の方法で検証した。すなわち、DP は視床レベルでは束状になるので、Yoo ら [11] の NDP 図の CST、CRP それぞれの同部位の直径を目測し Kisa らの計算式の ( $\pi \times \text{束の直径}^2 / 4$ ) にあてはめ計算すると、推定線維数の CST/CRP 比率は右 0.879、左 0.826 であり、左右とも Jang ら [12] の同比率 0.845 (CST994本/CRP1177本) と近似していた。よって Kisa らの計算式を応用して良いと考え、これを今回の報告に活用した。

ROI の設定は放射線技師が設定し主著者が確認、DTT の解析は主著者（リハビリテーション科専門医）が所見 (DTT の変化：後述する図の説明文に記載) を提案し、脳神経内科専門医、脳神経外科専門医と症状を知らない放射線科医のそれぞれ 1 名のカルテ上の対診にて決定した。

#### 2. 経過

1 か月の集中リハの結果、表 1 に示すように、麻痺が 12 グレードで上肢が 6 から 7 へ、手指が 0 から 2

表 1. 2 症例の治療結果

		症例 1				症例 2			
		治療前	治療 1か月後			治療前	治療 1か月後		
麻痺	FMA 上肢 (点) HFT (グレード)	20 上肢 手指	39 7 2			35 7 6	40 8 8		
	SIAS (点) 上肢近位部 上肢遠位部	3 0	3 1			3 0	4 1		
筋緊張	MAS	1~2	0~1			1~2	0~1		
ROM (他動, 自動)	肩外転 前腕回外 手関節背屈 示指 MP 伸展 示指 PIP 伸展 示指 MP 屈曲 示指 PIP 屈曲	80° 90° 20° 0° 0° 90° 90°	50° 40° -5° -20° -90° 90° 80°	145° 90° 45° 20° 0° 90° 90°	90° 45° 10° 0° -80° 90° 90°	80° -20° 45° 0° 0° 80° 90°	60° -20° 0° -10° -10° 30° 35°	95° 0° 55° 0° 0° 80° 90°	90° 20° 25° -5° 0° 60° 70°
STEF (点)		0	0			0	5		
片麻痺上肢能力		廃用手	補助手 B			補助手 B	補助手 B		
MAL	使用頻度 動作の質	0.12 0.12	0.25 0.37			0.125 0.125	0.125 0.125		

FMA: Fugle-Meyer Assessment

HFT: Hemiplegia Function Test

SIAS: Stroke Impairment Assessment Set

MAS: modified Arshworth Scale

ROM: Range of Motion

STEF: Simple Test for Evaluating Hand Function

MAL: Motor Activity Log

～、FMA 上肢が 20 点から 39 点へ、痙縮は MAS で 1～2 が 0～1 へとそれぞれ改善し、片麻痺上肢能力が廃用手から補助手 B へ、麻痺肢の使用頻度が 0.12 から 0.25 へと改善した。

なお、上肢・手指の痙縮は PB 直後から MAS で 0 ～1 に軽減して随意運動が容易となった。tDCS 下では母指の伸展外転が出現し容易に運動の反復が出来た。

ただし、患者は加療 2 週間後に左上肢に肩手症候群を発症したので、促通反復療法のみを中止し、ワクシニアウイルス接種家兎炎症皮膚抽出液の内服と左星状神経節への偏赤外線照射を加え、症状は軽減して 2 週間後に退院した。肩手症候群は退院後 2 か月に軽快した。

### 3. 画像経過

DTT は、図 1 に示すように、5 年前の発症後 3 か月（図 1a, b）と発症後 5 年の治療前（図 2 の a, 図 3 の a, b, c）と治療後（図 2 の b, c, 図 3 の d, e, f）の計 3 回撮像した。発症後 3 か月では、DP のうち CST は描出されず、CRP が辛うじて 1 本が描出された。発症から 5 年後の今回の治療前には、脳梁を対側から病側に伸びる TCF [2, 4] と TPF [3] が出現していた。DP が病巣側で 196 倍に著増し、対側ではやや増加していた（図 2 の a）。CST が 1 本だけ新たに描出されていたが、一次運動野の領域に起始部は無かった（図 3 の b）。CRP は病巣側と対側で増加して

いた（図 2 の a, 図 3 の b, c）。治療 1 か月後の DTT では、両 DP は疎となり（図 3 の e, f）、CST の起始部が一次運動野の領域から発し延伸していた（図 3 の e）。一方、治療 1 か月後の CRP は病側では治療前の 13%，対側でも治療前の 16% と両側で著明に減少していた。

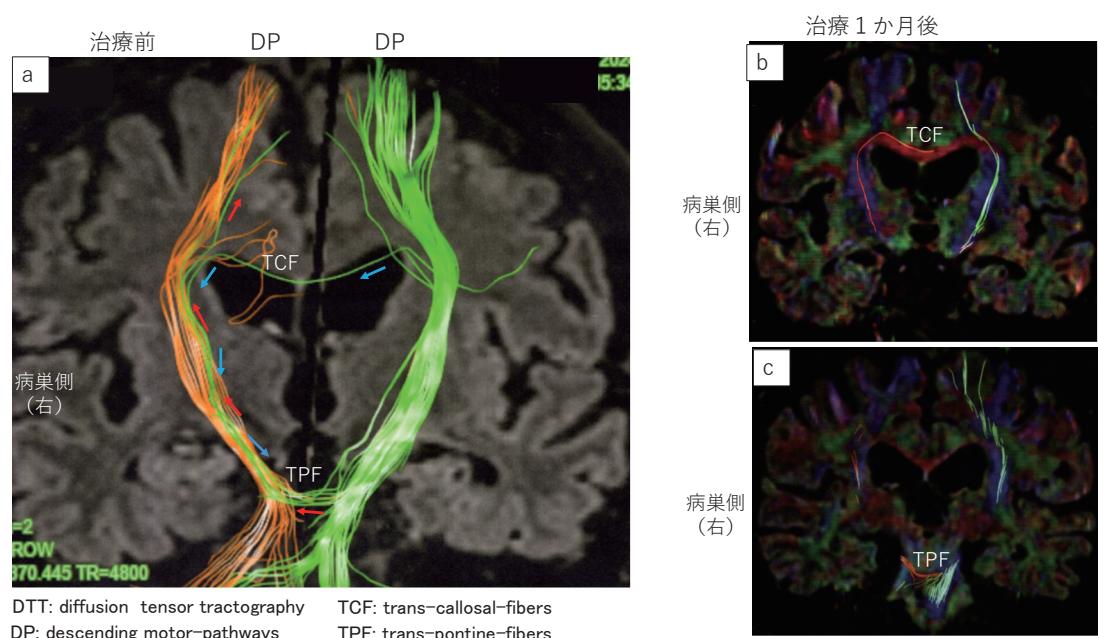
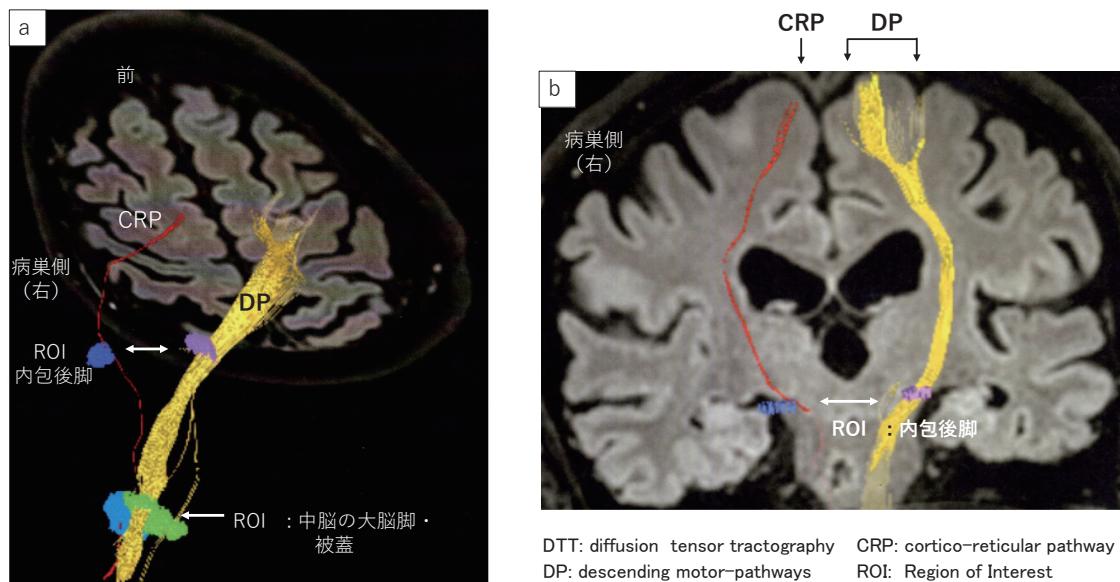
### 症例 2 60 歳代 男性 右利き

5 年前、右視床出血で左片麻痺となり、4 週後に回復期リハ転院した。転院時、HFT は上肢 2 手指 2 下肢 3 で、重度の表在・深部感覚障害を認めたが、高次脳機能検査は問題無く、FIM は全 93、運動 58、認知 35 だった。退院時の、身体機能は HFT で運動麻痺（上肢 7 手指 8 下肢 9）、感覚障害（表在・深部感覚）を残すが、FIM が全 121、運動 87、認知 34 となり、装具無しでの屋外歩行で自宅退院し、復職した。

退院後も PB と週 1 回の外来リハを受けていたが、上肢と手の痙縮が強まったので、PB を含む 1 か月間の集中リハ目的で入院した。

治療開始時、左上肢と手指の関節可動域は表 1 に示すように、P-ROM と A-ROM の差が大きく、II-V 指と母指との指尖ピンチは自動屈曲の制限により不能であった。左上肢・手指の痙縮は 1～2 であった。FIM は全 108、運動 73、認知 35 であった。

集中リハは、PB で左上肢・手指の痙縮が MAS で 0



～I に軽減したので、術後当日から開始した。促通反復療法を柱に、装具療法 (カックアップスプリント, Cバー), II 指の屈伸にテーピング法, 促通反復療法の手技の一部に IVES を併用した。

## 1. 症状経過

治療 1 か月後の結果を表 1 に示す。主な身体機能の改善は、上肢グレードが 7 から 8 へ、手指グレードが 6 から 8 へ、FMA 上肢が 35 点から 40 点へとそれぞれみられ、多くの関節での可動域が拡大し、PB

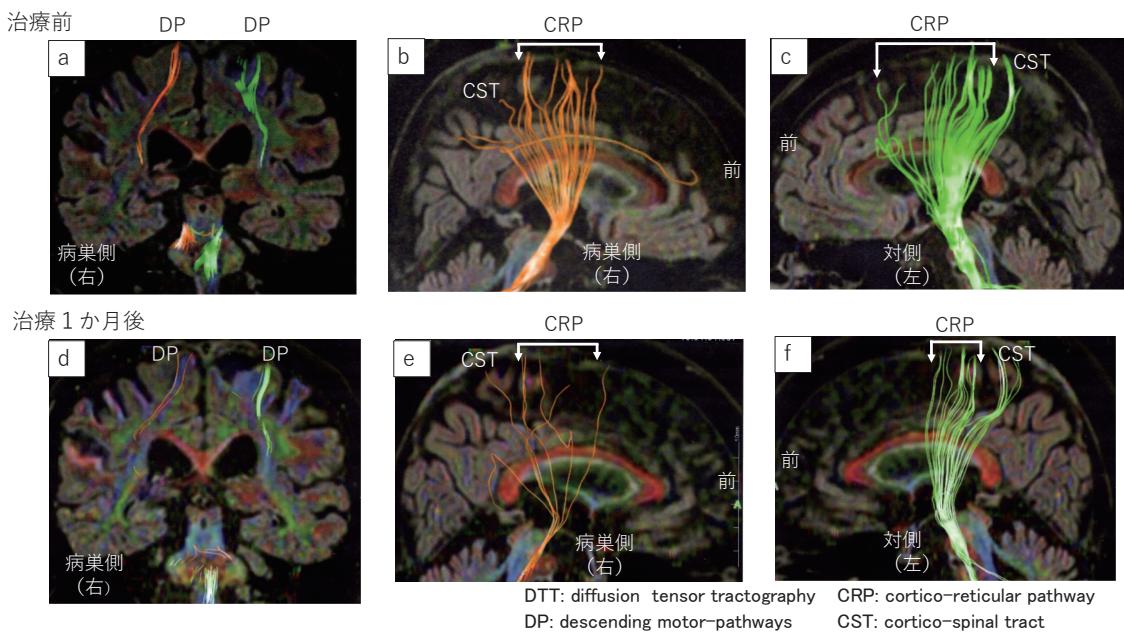


図3. 症例1（発症後5年）の治療前と治療1か月後のDTT

前額断DTTの治療前aと治療後dを示す。治療前には両側にDPがあるが、治療後はDPが減少していた。矢状断病巣側のDTTの治療前bと治療後eを示す。治療前にはCSTが1本描出されているが起始部は上肢・手の一次運動野領域には無い。CRPは増加している。治療後にはこのCSTが上肢・手の一次運動野領域を起始部にして下行している。CRPは疎になっている。矢状断対側のDTTの治療前cと治療後fを示す。治療前は対側のCRPも増加している。治療後は対側のCSTの線維数は不变であるが、CRPは減少している。

実施関節で痙攣が0～1へ軽快し、STEFが0点から5点へと上肢能力が向上した。

## 2. 画像経過

DTTでは、図4に示すように、治療前には病巣側からTCFが延伸（図4のa）しているが、病巣側のCSTの描出はみられず（図4のb）、対側のCRPは疎であった（図4のc）。治療1か月後には対側から病巣側へ伸びるTCFも描出されTCF全体が厚くなり（図4のd）、対側のDPは著増した（図4のd）。病巣側では一次運動野から発するCSTが新たに3本描出され（図4のe）、対側CRPは治療前の22.5倍と著増していた（図4のf）。

なお、症例1、症例2とも、今回の集中リハによる下肢への介入は無く、下肢麻痺や下肢筋力、歩行能力の変化は無かった。

## 考察

脳卒中発症後5年の片麻痺陳旧例2例で上肢と手指への促通反復療法とPBを含む集中リハを1か月間行い、機能改善と著明なDTT画像変化を得た。両例とも、治療開始時には上肢・手指の一次運動野領域から発するCSTの描出は無かったが、集中リハ後には同領域から発するCSTが下方に延伸している画像が描出された。

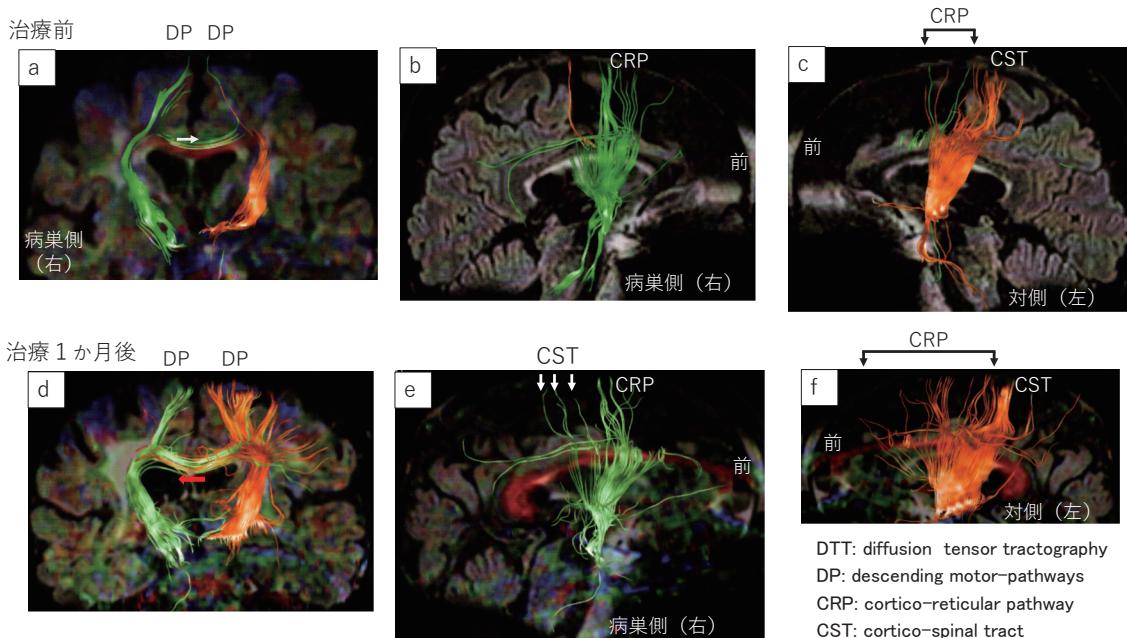
第1例では治療前にTCFとTPFが対側から病側へ伸び、第2例ではTCFが治療前に病側と対側から相互に疎に伸びていたものが集中リハ後にはTCFが密になっていた。病巣と対側のCRPは、第1例では集

中リハ後に減って疎になったが、第2例では増えて密になっていた。

Kisaら[2]は、回復期リハ病棟に入院した49症例のDTTに於ける運動下行路（CST, CRP）ならびにTCFと運動機能予後との関連を検討し、上肢の麻痺改善には病巣と同側のCSTと対側のCRP、手の麻痺改善には病巣と同側のCSTが重要であることを示し、TCFがみられるほうが、上肢・手の分離運動が進む症例が多かった、としている。今回の2例のDTT所見は、回復期でなく慢性期である点が異なるが、得られた所見はKisaらの報告[2]と以下の点で合致していた。すなわち、1) 両症例とも起始部にはみられなかったCSTが治療後に病巣側に描出されていること、2) 両症例とも治療前にTCFがみられるここと、3) 両症例で病巣の対側のCRPが増生していること（ただし、症例1では治療前に既に増生し、症例2では治療後に増生していた）の3点である。

これまでの脳卒中片麻痺の回復経過を追った一例報告はKisaら[2]によれば7編ある。これらのうち4編は片麻痺の評価を徒手筋力検査法そのもので、3編もこれをベースに行っており、共同運動の影響を受ける中枢性麻痺を正当に評価できていない。このためDTT所見と上下肢の近位部・遠位部の運動機能回復との関連が必ずしも明確にはなっていない。

今回の2例は、発症から5年経過した陳旧例であるにもかかわらず、短期間の集中リハ治療により上肢と手指の運動機能が向上したばかりでなく、DTT上にも機能変化を裏付けるような構造的変化が生じた。慢性期のDTT上で1か月という短期間で明らかな変化を認めた報告は、我々の文献検索では世界で初めて



**図4.** 症例2（発症後5年）の治療前と治療1か月後のDTT  
 前額断DTTの治療前aと治療後dを示す。治療前には病巣側からTCFの延伸が描出される（白矢印）。  
 治療後には対側からもTCFの延伸が描出され（赤矢印）、DPも著明に増加している。  
 矢状断病巣側のDTTの治療前bと治療後eを示す。治療前には病巣側に本来CSTがあるべき領域に描出がみられない。  
 治療後にはCSTが一次運動野の領域から3本ほど描出されている（白の矢印で示す）。  
 矢状断対側のDTTの治療前cと治療後fを示す。治療前には対側のCRPが疎である。治療後にはCRPが著明に増加している。

である。

興味深い変化として、第1例ではPBとtDCSを含む集中リハ治療前に密に増加していた運動下行路が、治療後には、病側と対側ともCRPは疎になって線維数が減少した。

この軸索の変化を含む急速なDTT変化の背景は、集中リハ、特にPBで可動域を拡大し、tDCSで運動野の興奮性を高めつつ、促通反復療法で習得目標の運動を反復したことが影響したと考えられる。

肩と肘、前腕、手の動きが改善し、これらの部位を動かすために「総動員」され影響を受けていたシナプスが集中治療に伴う長期増強(long term potentiation:LTP)の反復を通じ伝達効率の悪いシナプスが不要となり、シナプスの刈り込みが起こったと考えられる。

つまり、既存の軸索の役割の変換と集約化が起こったため肩と肘、前腕、手の動きが改善したと考えられる。この点は、Jangら[13]による以下の報告が具体例となる。

57歳の男性が左大脳基底核に出血を起こし右半身に完全麻痺を呈した。発症から1か月後のDTTでは傷害半球のCSTが中脳レベルで途絶していた。しかし、9か月後のDTTでは傷害半球後部頭頂皮質から視床レベルでCSTの主幹に接続する新たな枝が見られ、11か月後にはその枝が肥厚していることが認められ、運動麻痺も著明に改善した。

Jangら[13]は、損傷CSTの皮質起源領域が他の領域から一次運動野へ移行することがあり得ると述べている。これは本来の運動の主経路でない「感覚・統

合に関わる領域」が運動出力の代替経路に変化した、つまり=既存軸索の「役割の変換」が起こり得るものと我々も考える。この枝の肥厚は、拡散していた代償ルートが最終的に選ばれたルートとして収束していく集約化と考えられる。

この慢性期患者でのDTTで大きな可塑性が認められたことは、急性期と回復期のリハ治療の重要性ばかりでなく、慢性期患者でも傷害された神経路の再建と強化を目指したりハ治療の重要性を示しており、今後の開発が大きな課題である。

2005年にIkegayaら[14, 15]により開発された大規模スパインイメージング法は樹状突起スパインの広範囲・高解像度な動態観察を可能にし、経験依存的な神經可塑性を可視化する画期的な手法とされる。

本技術で得られるシナプスの動態（軸索発芽とスパインの選択的安定化）は、今回の2症例や既報[13]でもDTT上で観察された軸索再伸長・代償経路の再構築や収束現象の背後にいる機序として動いていると考えられる。

今回、両例で相反するDTT結果が生じた理由を考察するのは難しい。可能性として、第1例では線維数が増加し切っていたものが集中リハにより効率の悪い経路（線維）が刈り込まれたのに対して、第2例ではたまたま増加し切っておらず線維数増加に動いたのではないか、ということである。

計測のばらつきは否定し切れないが、各DTT測定は毎回コンスタントに一定の方法で行ってきたことから可能性としては小さいと考える。

今回、当初の作業仮設の想定外であった“シナプスの刈り込み”らしき現象に遭遇し、考察を迫られた。未解明の研究課題として今後に委ねたい。

今回の報告における限界としては、症例報告であるために麻痺や痙攣の変化と画像の変化、あるいは治療介入と画像の変化が必ずしも関連するとは限らない懸念がある。今後さらに、多数例での定量的な検討や対照比較試験、DTT と合わせて経頭蓋磁気刺激 (MEP) などによる機能評価が必要であると考える。

### 倫理宣言

松江生協病院倫理委員会（承認番号：202304）の承認を得た後、研究参加者に研究の目的、実施方法、取得したデータの管理・利用について説明し、研究参加の書面による同意を得ました。

### 文献

1. Jang, SH. A review of diffusion tensor imaging studies on motor recovery mechanisms in stroke patients. *NeuroRehabilitation* 2010; 27: 345–52.
2. Kisa T, Sakai Y, Katou M, Moriwaki D, Ohota M. Prognosis of motor function in stroke hemiplegia and its relationship with motor descending tracts (CST, CRP) and transcallosal Fibers (TCF) on Diffusion Tensor Tractography (DTT). *Shimane Igaku (Shimane J Med Sci)* 2025; 44(3): 31–40. Japanese.
3. Chang MC, Jung YJ, Jang SH. Motor recovery via transcallosal and transpontine fibers in a patient with intracerebral hemorrhage. *Am J Phys Med Rehabil* 2014; 93(8): 708–13.
4. Yang DS, Kim DS, Kim YH, Jang SH. Demonstration of recovery of a severely damaged corticospinal tract: A diffusion Tensor Tractography and Transcranial Magnetic Stimulation follow up study. *J Comput Assist Tomogr* 2008; 32(3): 418–20.
5. Seo YH, Jang SH. Recovery of a degenerated corticospinal tract after injury in a patient with intracerebral hemorrhage: confirmed by diffusion tensor tractography imaging. *Neural Regen Res* 2015; 10(5): 829–31.
6. Kawahira K, Shimodozono M, Noma T. Exercise Therapy for Recovery from Hemiplegia -Theory and Practice of Repetitive Facilitative Exercise. Singapore: Springer Book, 2023.
7. Ueda S, Hasegawa T, Andou K, Sakuma A, Kusunoki T. Standardization of functional tests for hemiplegic hand — the 12-level finger function test and hemiplegic upper limb ability test—. *Jpn J Rehab Med* 1985; 22 (3): 143–60. Japanese.
8. Kisa T, Sakai Y, Maniwa S. A Study on the reduction of spasticity and improvement of range of motion and voluntary movement by phenol block. *Shimane Igaku (Shimane J Med Sci)* 2019; 39(3): 41–6. Japanese.
9. Kaneko T, Hirao K, Muraki T, Kuriyama Y. A Study on the development and standardization of upper Limb function tests. *Bull Kobe Univ College Medical Technol* 1985; 1: 37–42. Japanese.
10. Jang SH, Chan CH, Lee J, Kim CS, Seo JP, Yeo SS. Functional role of the cortico-reticular pathway in chronic stroke patients. *Stroke* 2013; 44(4): 1099–1104.
11. Yoo JS, Choi BY, Chan CH, Jung YJ, Kim SH, Jang SH. Characteristics of injury of the corticospinal tract and corticoreticular pathway in hemiparetic patients with putaminal hemorrhage. *BMC Neurol* 2014; 14: 121.
12. Jang SH, Lee SJ. Cortico-reticular tract in the human brain: a mini review. *Front Neurol* 2019; 10: 1188.
13. Jang SH, Chang CH, Jung YJ: Recovery of an injured corticospinal tract via an unusual pathway in a stroke patient: case report. *Medicine (Baltimore)* 2019; 98(7): e14307.
14. Ikegaya Y, Bon-Jego ML, Yuste R. Large-scale imaging of cortical network activity with calcium indicators. *Neurosci Res* 2005; 52: 132–8.
15. Takahashi N, Kitamura K, Matsuo N, Mayford M, Kano M, Matsuki N, Ikegaya Y. Locally synchronized synaptic inputs. *Science* 2012; 335: 353–6.