指導医を招いて

脊髄外科手術 随想—平成世代から令和世代へ—

A Monologue of Neurospinal Surgeon, Since 1989

水野正喜^{*1,2}

Masaki Mizuno, M.D., Ph.D.

Key words

neurospine, spinal surgery, simulation, surgical strategy, surgical technique

はじめに

私は平成元年に医師になり、脳神経外科医として脊髄外科を主たる専門分野に選び従事してきました。令和の世の中で、今この『脊髄外科』を手に入れている皆さんに向けて、脊髄脊椎外科の道をこれからも迷わず歩んでいただくために、手術上達への手立てを思いつくまに文章にしてみました。何か1つでもお役に立てれば幸いです。

理想と現実—夢は実現する Dreams come true—

本稿を執筆している2020年前半は、この世代が経験したことのない新型コロナウイルス感染の渦中にあります。皆さんの社会的活動が制限され、先がみえない漠然とした不安に苛まれている状況です。こんなときこそ先の目標を見据えて、前に進むことが大切だと思います。

自分の理想を実現するためには、将来の姿を意識し現実とのギャップを埋めていくことが必要です。「何年後には何々を達成する」というような具体的な目標を設定し、文字として具体的に記述を残し、常にそれを意識しながら行動すれば、現在の自分を目標の位置まで着実に引き上げていくことができるようになります。目標は

仕事だけではなく、社会的活動や家庭などすべてのものに設定し、1年後、5年後、10年後までの到達ラインを決めておくことが肝要です。年次ごとに経過を追いかけて到達度に応じて努力を続けければ、着実に達成できる項目が増え、その度に人生が豊かになったことを実感できます。

本誌の読者は優秀な外科医の先生であるので、思い描いた人生を歩んでいる方も多いと思いますが、若い先生がさらに秀でた脊髄外科医になっていただくために、明確な目標をもち、知見を高め、多くの症例を経験し、脊髄外科の活動に積極的に参加して、理想を現実化していただきたいと思います。

脊髄外科指導の上級医に巡り合うこと —Mentor をみつける—

三重大学に脳神経外科の講座が開設された当初から、脳神経外科の業務として脊髄脊椎疾患の治療はルーティンに行われていました。入局直後から和賀志郎教授、小島精助教授から脊髄脊椎手術の指導を受けました。また、直接の指導医であった久保和親先生の手術に感動し、外科医の“技術者としての能力”を目の当たりにして、手術がうまくなりたいと意識しました。

さらに、脊髄脊椎手術の素晴らしさを実感したのは、

^{*1} 三重大学医学部脊髄末梢神経低侵襲外科／Department of Minimum-invasive Neurospinal Surgery, Mie University Graduate School of Medicine

連絡先：〒514-8507 津市江戸橋 2-174 三重大学医学部脊髄末梢神経低侵襲外科 水野正喜 [Address reprint requests to : Masaki Mizuno, M.D., Ph.D., Department of Minimum-invasive Neurospinal Surgery, Mie University Graduate School of Medicine, 2-174 Edobashi, Tsu-shi, Mie 514-8507, Japan]

^{*2} 鈴鹿厚生病院脊椎・脊髄センター／Department of Spine Center, Suzuka Kaisei Hospital

Fig. 1 L4/5 trans-axillary approach

a : L5 椎体方向へ下垂した椎間板ヘルニア.

b : ヘルニアは硬膜嚢と左 L5 神経根の間に存在.

c : 正中切開 40 mm, 椎弓切除 L4 棘突起から幅 10 mm, L5 椎弓も 10 mm 尾側まで削除.

卒後 2 年目の平成 2 年に前理事長である花北順哉先生のもとで仕事をするようになってからです。2 年目の研修先を決めるときに希望して赴任させていただきました。花北先生の手術は、出血しない、無駄な展開はしない、目標に的確にアプローチする、病変を確実に処理する、治療目的を完遂する、など非常に精緻な手術で感銘を受けました。花北先生のもとでの 3 年間の“修行”が、その後の私の脊髄外科医としての道を大きく切り開きました。久保先生、花北先生のようなスペシャリストに修行時代に遭遇できたことが私の大きな財産となっていることは間違いありません。

日本脊髄外科学会では、多くの脊髄脊椎症例を扱っている実績のある病院を訓練施設として認定しています。また、現在 141 名の指導医の先生が全国で活躍しております。さらに、病院見学や短期の実習など、施設間のハードルを下げて交流できる環境の整備も整いつつあります。あなたが学会発表を聴いたり論文を読んだりして感銘を受けた先生のもとで経験を積むこと、その先生を mentor として自身の拠り所とすることは大きな資産となることでしょう。今後、学会会員同士が積極的に交流できる環境を整えていくことはわれわれの責務と考えます。

手術方針の決定—治療戦略 (Surgical Strategy) を組み立てる基礎—

手術治療を選択する際に最も重要なことは、戦略を立てることです。責任病変を認識して適切な治療法を選び手技を選択します。人はどうしても自信のある手技や経

験が多い方法を選んでしまう傾向がありますが、自分の経験値で手技を選ぶのではなく、症例に最も適切な手術を行うことが大切です。適切と思われる手技に自信がなければ上級医に相談したり、全国の指導医の先生に相談したり、実際手術に立ち会ってもらうことも可能です。さらに、柔軟に治療戦略を立てるためには、あらゆる手術手技に精通するように努力し、360 度の視野から治療法を検討することがポイントです。われわれの施設（三重大学、鈴鹿回生病院）では、腰椎手術を例にとると、顕微鏡下での後方除圧（椎間板摘出、trumpet laminectomy、一側進入両側除圧、外側筋間アプローチ）、後方椎体固定（PLIF、TLIF）、スクリュー固定（open、CBT、経皮的）、側方や前方からの固定（ALIF、LLIF）、さらに経皮的内視鏡下手術まで、現在活用できる手技すべてに対応できる体制にあり、症例に応じて手術手技をアレンジして実施しています¹⁾。豊富な選択肢をもつよう常に進取の気性をもって学会や論文から情報を得たり、または自らの工夫で新しい手技を開発したりして対応できるよう努力しています。自分の中の知識や経験が豊富になると、1 つの病変でもさまざまなアプローチがみえてきます。たとえば腰椎椎間板ヘルニアの手術では、下方腹側に脱出したものは trans-axillary approach で摘出を行い（Fig. 1）、上方の上位神経根の腹側に脱出したものは椎弓峡部の C 型椎弓切除で到達し、椎間関節を温存し固定術なしでヘルニア摘出する方法を選択することができます（Fig. 2）。

Fig. 2 椎弓峡部のC型椎弓切除

a : 右 L3 神経根の尾側に存在するヘルニア。

b : L3 椎体裏面上行したヘルニア。

c : 正中到達法, L3 椎弓峡部の C 型の椎弓切除, Safety triangle からヘルニア摘出, 正中硬膜嚢の腹側も除圧, 固定なし。

術前計測—備えあれば憂いなし—

花北先生の手術で印象に残っている術中の所作があります。頸椎前方除圧固定術の罹患椎間にマーカーとして針を刺入して手術高位を確認する操作で、折り曲げた針の長さを毎回計測し硬膜や脊髄に到達しない 10 mm 以内であるか確かめていたことです。なんとなくや、このくらいといった曖昧な判断ではなく、数値を用いて安全域を確保することが重要であると認識した場面です。このシーンの記憶が、その後の経験値ではなく計測値で手術を行うスタイルになったと考えています²⁾。頸椎椎弓形成であれば、皮切を C3～C6 まで正中に 4 cm、棘突起縦割は C3 : 5 mm, C4 : 7 mm, C5 : 10 mm, C6 : 15 mm の深さで、C3 椎弓切除幅は 16～18 mm、椎弓形成幅は C4 : 24 mm, C5 : 24 mm, C6 : 23 mm の片開き式、使用するスペーサーは長さ 10 mm などすべて計測しておけば、術中に迷うことなく安心です (Fig. 3)³⁾。除圧範囲が決まっているので、不必要な術野の展開を行わず、必要最低限の侵襲で治療を行えます。腰椎椎弓切除の場合も 20 mm 幅で進入する場合、術中に定規で計測しますが、さらに使用しているドリルが幅 4 mm であり、そのことを意識していれば切除幅がドリル 5 個分であり、削除しながら幅がわかります。腰椎傍正中アプローチで筋間から進入する場合も、術前画像で視野確保に必要な皮膚切開の位置と、多裂筋と最長筋の筋間の位置を把握することで容易に椎間関節外側まで到達することができます (Fig. 4)⁴⁾。経皮的内視鏡の手術でも、術前に計測し到達点までの経路を計算したうえで治療を進めています⁵⁾。神は細部に宿るといわれますが、術前画像が精

Fig. 3 片開き式椎弓形成術 術後 CT scan 術前の計測に基づいた形成

a : C3 椎弓切除幅 16 mm.

b : C4 椎弓形成幅 24 mm.

c : C5 椎弓形成幅 24 mm.

d : C6 椎弓形成幅 23 mm.

細となりさまざまな方向から計測可能であることから、手術開始から顕微鏡下の詳細処置の部位まで術前に計測し確認しておけば、すべての手技を綿密に過不足なく完了することが可能となります。また、術前計測はシミュレーションにも役立ちます。術前に頭の中で具体的な術

Fig. 4 腰椎傍正中アプローチ

- a : 椎間関節外側から椎間孔に到達するために至適な皮切部位は正中から外側 30 mm.
b : 多裂筋と最長筋の筋間 (☆印) は正中から 15 mm, 筋膜を直上で切開し, 筋間 (▽印) に沿って進入し, 椎間関節 (○印) まで到達する.

野のイメージが湧いたうえで手術を遂行することができれば、実際の手術の際にも冷静沈着に手術を進めることができます。

ドリル操作—立体感覚と視点—

脊髓脊椎疾患の手術手技で、最も伝わりにくい技術はドリル操作と思われます。初心者の先生は上級医の何倍もの時間をかけても骨削除が進まない場合もあります。手術用ドリルによる脊椎手術では、骨を掘削した向こうには必ず神経組織や軟部組織が存在しており、それらを損傷する可能性があるリスクの高い手技のため習得には時間がかかります。平面ではない脊椎の手術を行うには三次元的立体感覚が重要であり、自分が今どこにいるのか、ドリルの向こうには何が存在しているのか、あとどれくらい削除可能か、などの空間認知が重要となります。われわれオールドファッションのグループは、CTやMRIの2D画像から実際の三次元構造を脳内に実体化することを修行してきました。これから活躍される先生は、空間認知能力を鍛える方法として、パズルやRPGなどのゲームで能力が向上することが知られていますので大いに遊んでください。また、術前の手術シミュレーションを3D画像で行うと術野の立体感覚が鮮明となり、術中の位置把握が容易となりよく活用されています。汎用の頸椎や腰椎の脊椎模型や、3Dプリンターで作成した脊椎モデルなどのわかりやすい実体で手術手技を検討することも術中のドリル操作に役立ちます。

自分の技能を他人に伝えることは大変難しい作業です。指導医がドリル操作中に、どのような認知作業や行動様式で運動を行っているかについては、人それぞれの

設定ポイントが異なりますし、それらの計測法もまだ十分には確立していません。工学的には熟練の技術を測る方法として視点（アイポイント）のトレースによる評価という方法があります。熟練者は手技の最中に視点が目標点からぶれないことが知られています。操作中に処置を行う対象物に対して、視線が安定しています。初心者は視点が定まらず、常に動いていて対象を十分に確認していないことが知られています。視線の注力はすなわち集中力につながり、視覚とドリルから伝わる両手の感覚を脳内で総合的に判断して削除を進めることができます。また数学的には、ドリルの削除面は球面の形状をしていることが多く、先端（極部）と側面（赤道）では接線方向の速度が大きく異なります。赤道面の方が、回転スピードが速くスムーズに削除が進行することが知られています。赤道面をうまく使いながら重要組織まであと皮一枚となるまで皮質骨を削ることが、経験とトレーニングで身につけていきます。

手術ノート—記録と記憶—

電子カルテになり、入力や記録のフィードバックは非常に便利に、かつ容易になりました。しかし残念なことに、手術記録に手書きの術野スケッチを残しにくい状況となっており、術後の手書きのスケッチを最近ではあまりみかけません。手術ビデオで自分の手術手技を見直し、術野を脳内で二次元化してノートに残しポイントを記載することは、手術手技と術中の状況を自分自身の形へ落とし込むという処理を行うことであり、手術の反省点の洗い出しを行い、次回手術への要点や改善点を発見することにつながります (Fig. 5)⁶⁾。PDCAサイクルと

Fig. 5 手術記録 頸椎前方除圧固定術
Cylindrical cage を用いた除圧固定術. 左アプローチで右側の病変を摘出した.

Fig. 6 手術記録 腰椎分離すべり症 PLIF + CBT screw fixation
分離すべり症に対して MIDLIF の手技を用いた第 1 例目の記録.

いう業務の効率化や改善を進めていくビジネスツールがあります。これは Plan (計画), Do (実行), Check (評価), Action (改善) の頭文字をとったものです。この PDCA サイクルは、われわれが行っている手術に関連した作業にも当てはまります。Plan (手術計画) を立て、Do (手術) を行い、Check (手技を記録) し、Action (次回手術) に反映させるという手段です。反省と改良を繰り返しながら、手術手技の継続的な向上を目指します。C にあたる手術評価としての手術スケッチは、以下の点で有用であると考えられます。手入力は運動作業を伴い、視覚の情報とともに、強化された刺激として脳内に残すことができます。手術のスケッチをノートに手書きしたりタブレットのタッチペンで記入し、その周囲に手術の状況や注意点を記録することで、記憶が永続化され、次回手術の糧となり、手技の上達に寄与します。初めての手術には気づきが多く存在するので、手術ノートにスケッチをして、それを覚えておくことは次の手術に非常に役立ちます (Fig. 6)⁷⁾。

人工知能との共存一次なる目標一

病気の診断は、質問事項を入力することや検査データを解析することで、今後は AI に取って代わられると考え

ます。外科医の分野でも、創部の展開や閉創は機械化されるかもしれません。ロボティックスの介入により脊椎外科の部門でも術中画像と組み合わせた自動スクリー挿入が可能となっています。今後の医療は、優秀なプログラムで作動する先端技術の活用や処理能力が向上した人工知能との共存がテーマとなってくるでしょう。

脊椎脊椎手術はコンマ数ミリの精細な手術なので、ロボットに置き換わるにはまだ猶予があるように思います。しかし、手術手技を伝える技術的方法やシミュレーションツールの開発を行い、次の世代に技術を伝えていくことが重要です。術者の指先の操作を術野に反映するダヴィンチ手術機器があるならば、術者の微妙な力加減や視点を感知して記録し、その技を二進法で残すことができるかもしれません。

目標設定

一年後：現在ある AI, VR, AR の技術を把握し、医療分野への深達度を確認する。

五年後：達人の手術の技を機械的に記録し再現できる装置を開発する。

十年後：ヘッドセットやハンドセンサーと VR 装置が

セットになった,「脊髄外科手術手技 VR トレーニング」
キットを三輪書店から販売する, …夢は実現する.

文 献

- 1) 水野正喜, 倉石慶太, 鈴木秀謙: 腰椎固定術の基礎と低侵襲手技の発展. 脳外誌 **26**: 353-361, 2017
- 2) 水野正喜, 久保和親, 丹羽恵彦: 腰部脊柱管狭窄症に対する拡大開窓術—後方要素を温存した microsurgical trumpet laminectomy. 脊椎脊髄 **18**: 303-309, 2005
- 3) 水野正喜: 頸椎後方手術 椎弓形成術 片開き, 片側進入. 今栄信治, 川西昌浩, 朝本俊司, 他 (編): 脊椎脊髄外科サー
ジカル・テクニック. 東京, メジカルビュー, 2012, pp110-121
- 4) 水野正喜: 腰椎後方の局所解剖と手術アプローチ. 脊椎脊髄 **32**: 371-377, 2019
- 5) 北浜義博: 経皮的内視鏡下腰椎椎間孔拡大術. 脊椎脊髄 **30**: 1037-1045, 2017
- 6) 水野正喜: チタンケージを用いた頸椎症, 頸椎後縦靱帯骨化症の手術. 脊椎脊髄 **31**: 721-728, 2018
- 7) Mizuno M, Kuraishi K, Umeda Y, et al: Midline lumbar fusion with cortical bone trajectory screw. *Neurol Med Chir (Tokyo)* **54**: 716-721, 2014