

特 集 「機能障害：運動麻痺」

脳画像から捉える運動麻痺

岡林 輝親

高 知 県 理 学 療 法

第 26 号 別 刷

平成 31 年 3 月 31 日 発行

(公社) 高 知 県 理 学 療 法 士 協 会

脳画像から捉える運動麻痺

岡林 輝親

医療法人臼井会 田野病院 リハビリテーション部

【はじめに】

理学療法士にとって脳画像を見る意義は、脳卒中患者の症状がなぜそうなっているのかを理解するだけでなく、脳のどこの部位の障害によってその症状が生じているのか、病態をより深く解釈し、予後を予測し、治療プログラムの立案につなげていくことが出来ることに考えている。今回は、脳卒中患者で運動が困難となる理由の一つであり、理学療法士がよく臨床で治療の対象とする運動麻痺と姿勢制御の障害に焦点を当てる。それらを脳画像から捉えるために、運動を制御している神経基盤を確

認した上で、より深く現症を理解できることを目標として、自身の学習法なども紹介しながら解説していきたい。

【姿勢・運動制御の神経基盤】

運動の制御は、皮質脊髄路が担っているというのは既知の事実であるが、運動がそれだけで成立するかというそうではない。変化する外界の環境や自己身体の変化に対して適応的な行動を成立させるためには、外界を認識し自己の経験や情動に基づいた行動の計画を立てる認知的プロセスを経る必要がある。その行動計画に基づき、

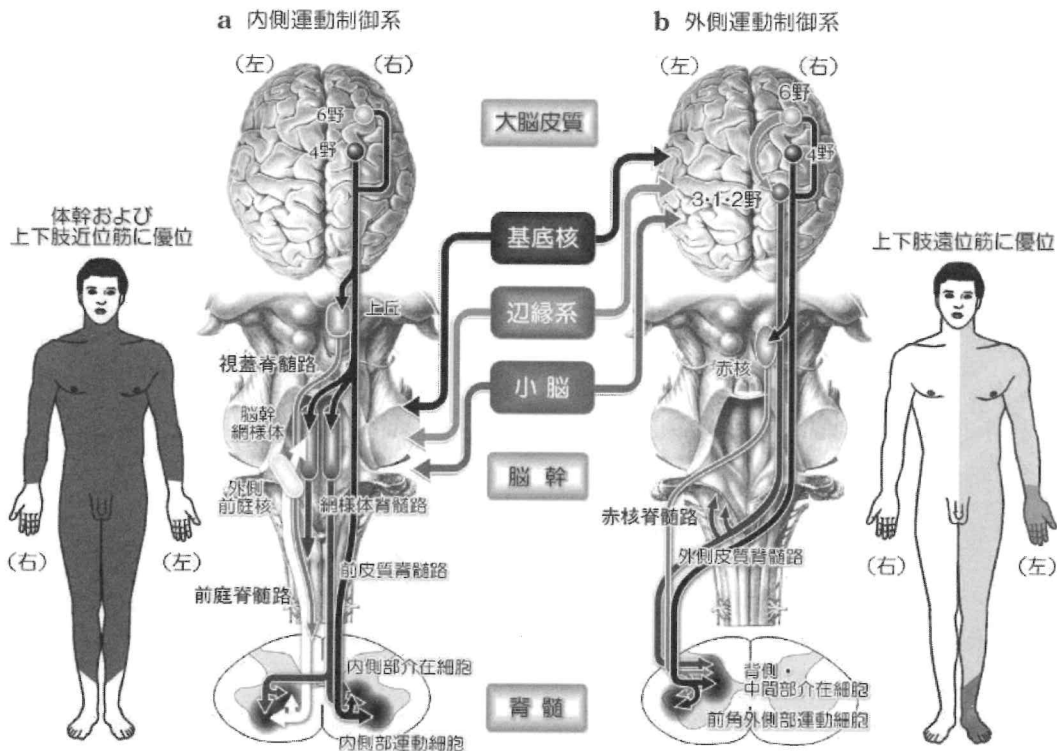


図1 内側運動制御系と外側運動制御系 (文献2より引用)

運動の順序やタイミングなどの運動プログラミングが生成され、更にその運動プログラミングは、「姿勢制御の情報」と、「巧緻運動の情報」に分けられ運動に至ると考えられている¹⁾。皮質脊髓路による運動の制御は、一連のプロセスの最後、“巧緻運動”に関わると言われ一次運動野(4野)と運動前野や補足運動野(6野)から下降する。90-95%は延髄錐体で対側に渡る経路で、主に上下肢の遠位筋を優位に支配しており、これらを外側運動制御系として分類している(図1b)。

対して内側運動制御系は、主に網様体脊髓路などの脳幹-脊髓投射系で構成される。前皮質脊髓路(皮質脊髓路の5-10%、錐体交差で対側に交差せず、同側に下降する繊維)も含まれ、体幹筋や上下肢の近位伸筋群を支配するため、起立、歩行、姿勢制御に関与する(図1a)。運動前野や補足運動野で生成される姿勢制御に関する情報は、皮質-網様体投射を介して脳幹(主に網様体)に伝えられ脊髓全長に渡って両側の神経細胞に作用し、目的とする巧緻運動に最適な姿勢制御を実現させる。これらの多くは無意識的に遂行され、外乱などに対してリアルタイムに感覚信号を処理して身体バランスを補正する「代償性姿勢制御」と、運動の開始や運動中の動作変更を先行して

最適な姿勢を提供するための予測的過程で、「予測的姿勢制御(APA:anticipatory postural adjustment)」と呼ばれる。

運動麻痺を捉える際には、皮質脊髓路繊維のみならず、皮質網様体脊髓路繊維も視野に入れて、損傷の領域から出現が予測される症状、あるいは繊維が残存している可能性のある場合にはその回復をより促すための治療プログラムを組み立てていく事が重要となる。

【脳画像の見方】

脳画像を見るうえで、Keyとなる画像は6つあると考えている。それは①頭頂レベル、②側脳室レベル、③基底核レベル、④中脳レベル、⑤橋レベル、⑥延髄レベルである。ここからはそれぞれの画像のランドマークを確認していきながら、皮質脊髓路繊維、皮質網様体脊髓路繊維を追っていく。

① 頭頂レベル

皮質脊髓路繊維の多くは一次運動野から起こる。このレベルではまず中心溝を同定し、その前頭側にある中心

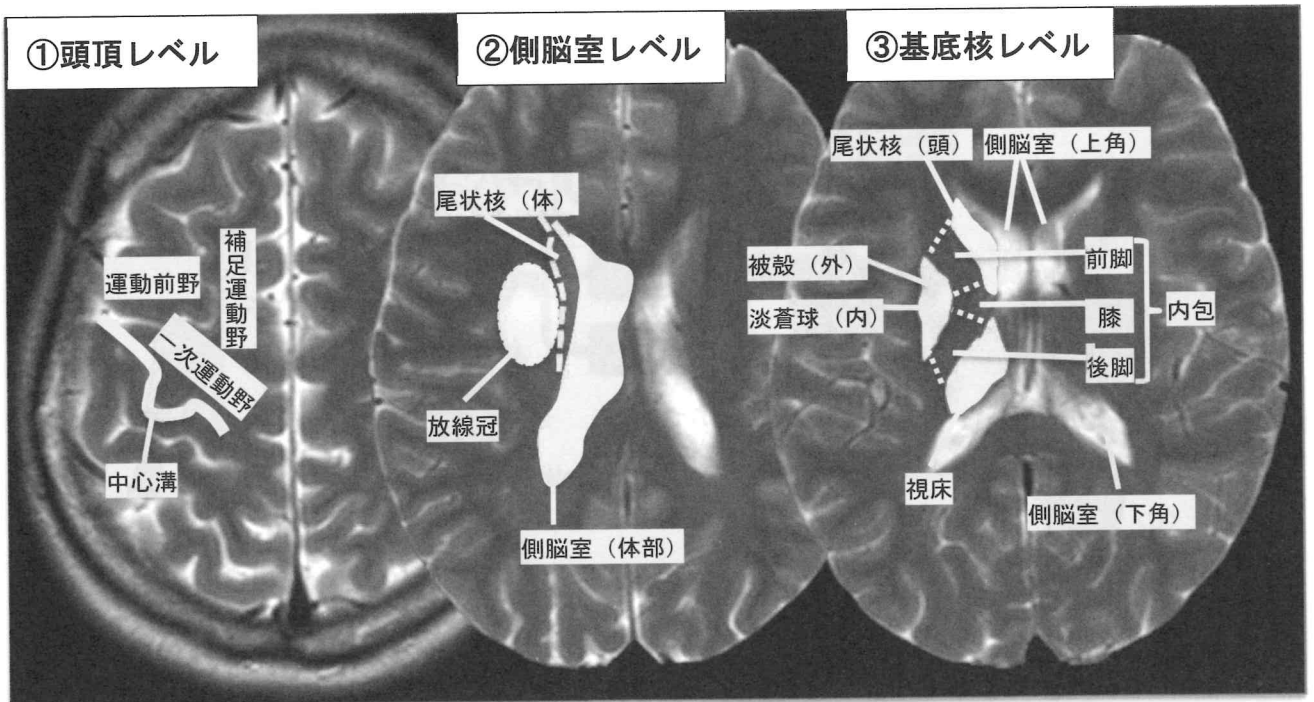


図2 脳の解剖(1)

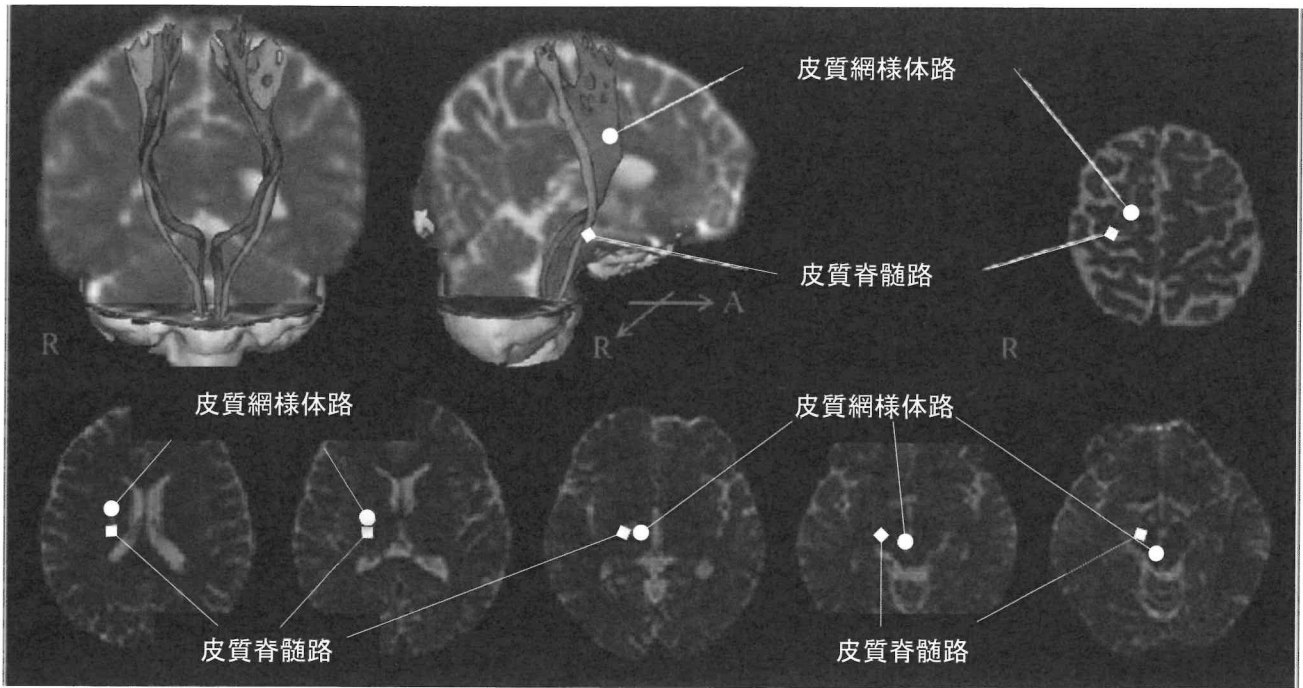


図3 皮質脊髄路と皮質網様体路の経路 (文献3より一部改変して引用)

前回、一次運動野を見つけることが重要である。中心溝は特徴的なΩ（オメガ）の形をひっくり返したような形（precentral knob）を見つけることで容易に同定することができ、この部分は手指の領域に該当する。逆に大脳縦列（大脳半球の間の溝）付近は下肢の領域に該当する。一次運動野の前方には運動前野、その内側部分は補足運動野の領域となっており、皮質網様体脊髄路の主な起始部となる²⁾ (図2①)。Sangら³⁾は皮質脊髄路繊維と、皮質網様体脊髄路繊維を拡散テンソルトラクトグラフィの手法を用いて描写しており(図3)、この資料からも皮質脊髄路繊維の前方に、皮質網様体脊髄路が走行していることがみてとれる。この領域では、両者の繊維が近い関係にはあるものの、損傷しているであろう繊維と、残存しているであろう繊維が分けやすい。皮質下出血や皮質微小梗塞などで、一次運動野の領域で皮質側(外側もしくは大脳縦列付近)は損傷しており、運動麻痺は生じているが、前方繊維の皮質網様体路は残存している可能性がある場合、早期に歩行が獲得できるというケースは多い。逆に、皮質網様体路が損傷を受けると体幹・骨盤帯・肩甲帯などの中枢部の弛緩が生じ、左右の体幹と麻痺側上下の連結がたたれ、立脚支持機能と、遊脚振り出しの機能が低下す

ると考えられており⁴⁾、歩行能力の回復に大きく影響を及ぼす。

① 側脳室レベル

ここでは、「ハ」の字に見える側脳室が確認できる。側脳室のすぐ外側には、確認しづらいが尾状核が存在する。尾状核のすぐ外側を皮質脊髄路、また並走するように前方を皮質網様体脊髄路が走行しているため、尾状核を確認することは非常に重要である。病変は尾状核のすぐ外側なのか、または距離が開いているのかによって、皮質脊髄路繊維の下肢の領域が残存しているかどうかの指標となり、歩行能力の予後予測に大きく影響を及ぼす。またラクナ梗塞などの病変が前寄りの場合は皮質網様体路が、後ろ寄りの場合は皮質脊髄路の損傷が強いことが考えられるため、出現する病態も前寄りでは中枢部の機能低下が強く、後ろ寄りでは遠位部の機能低下が強く見られることが予測される。ちなみにこのレベルでは、顔面や上肢の繊維は脳の外側から捻れて内方へ向かっているため、尾状核からさらに外方、皮質寄りに位置している。そのためこのレベルの梗塞では、その病変が出現する位置が、前寄りか後ろ寄りか、尾状核寄りか皮質寄りかによって大きく病態が変化することが特徴である。すなわち、尾状核

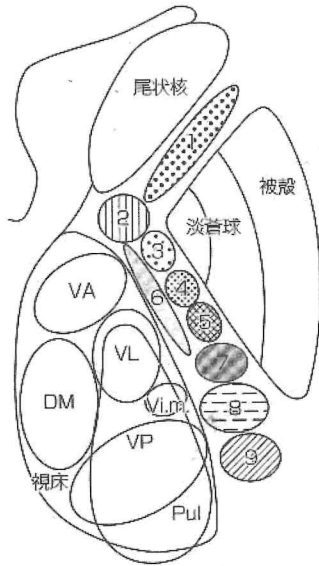


図4 内包を通る繊維 (文献5より引用)

- 1: 前頭橋路、2: 皮質延髄路、3: 皮質脊髓路 (上肢)、4: 皮質脊髓路 (体幹)、5: 皮質脊髓路 (下肢)、
6: 皮質網様体路、7: 皮質延髄網様体路、
8: 視床皮質路、9: 側頭橋路、頭頂橋路、後頭橋路

寄り且つ前寄りでは皮質網様体路の損傷の可能性が高いため、中枢部の弛緩により支持機能や遊脚機能の低下から歩行能力の低下が生じると考えられる。尾状核寄り且つ後ろ寄りでは皮質脊髓路の中でも下肢遠位筋の繊維が損傷されている可能性が高いため、体幹機能は回復の予後が良いか早期から機能しているが、足関節の背屈や膝のコントロールが困難であるケースが考えられる。さらに皮質よりの梗塞では、皮質脊髓路の中でも上肢や顔面の繊維が損傷されている可能性が高く、歩行は比較的早期に改善するが、上肢に重度の麻痺が残るケースが考えられる。

② 基底核レベル

脳の内側に見える側脳室下角の外側に卵状の視床が確認できる。視床の前外側にレンズ核 (被殻・淡蒼球)、レンズ核の前内方、側脳室前角に覆われるように存在して

いるのが尾状核の頭部である。それらの構成要素によって描き出されるのが、左脳側 (画像では右側) で「く」の字に見える内包である。その前方を前脚、折れ曲がる部分を膝部、後方を後脚と呼ぶ。運動麻痺を捉える上では内包後脚を見つけることが重要となる。

皮質脊髓路は内包後脚の上1/2を通り、上から上肢→体幹→下肢と配置されていると言われている⁵。膝部には皮質延髄路として頭頸部の繊維が走行する。皮質網様体脊髓路は図4のように皮質脊髓路の視床側、あるいは被殻側に存在すると言われ、文献により違いがある⁵⁾⁶⁾⁷⁾が、皮質脊髓路と皮質網様体脊髓路は内側に捻じれながら並走して脳幹に至ることを考えると、両者の位置関係を明確に分けることは困難であると考えられる。

代表的な被殻出血や視床出血により、内包後脚まで病変が大きく進展しているケースでは重篤な運動麻痺を生じる。前方や外方に広がる被殻出血例では内包後脚の損傷が生じにくく、歩行予後は概ね良好であるが、後外方に広がるタイプで、視床の外側まで損傷が及ぶものや、側脳室レベルで側脳室の外側に損傷が及ぶものは歩行予後不良である、と言われている⁸⁾。

視床では、視床前腹側核 (VA核) の外側面に内包後脚が面している。そのためVA核を中心とした視床出血例で後外側に血腫が進展している場合には、皮質脊髓路繊維、皮質網様体路繊維が損傷され、運動麻痺や予測的姿勢制御の問題が出現すると考えられる⁹⁾。また、前脈絡叢動脈は、その灌流領域は小さいにもかかわらず、内包後脚がその固有の灌流領域であり、梗塞による運動麻痺は最も見られる症状である。前述の通り、内包後脚の前1/2を皮質脊髓路が通ると考えられており、ラクナ梗塞が内包後脚の前方に位置する場合は上肢優位、それより後方では下肢優位の運動麻痺を呈する。後ろ1/2の損傷では、視床から皮質へ向かう繊維や、頭頂葉などから小脳へ向かう経路などが通ると言われており、感覚障害や半側空間無視、小脳失調などの多彩な症状が見られる

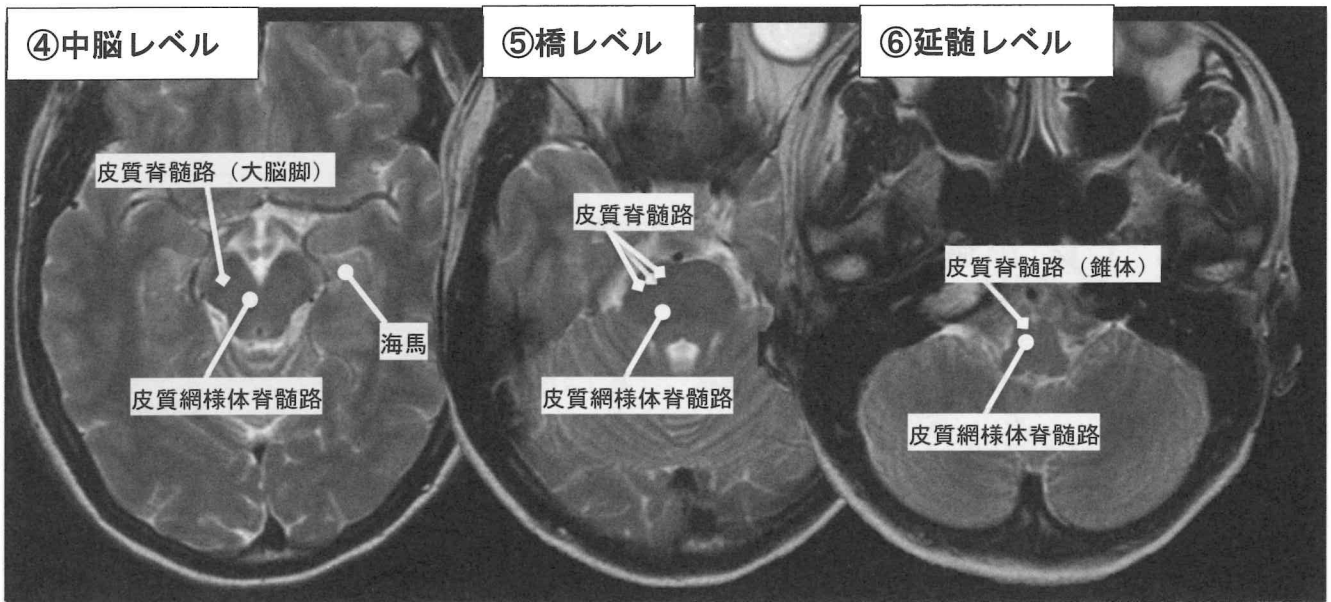


図5 脳の解剖 (2) (文献10を参考に作成)

③ 中脳レベル

中脳で皮質脊髓路は、大脳脚と呼ばれる部分の中 1/3 部分を通る (図5)。中脳はミッキーマウスの頭の形のように見え、大脳脚はその耳の部分に当たる。これまで皮質脊髓路と並走していた皮質網様体路はここから経路を分かれ中心寄りとなっていくため、大脳脚に局限した損傷では、皮質網様体脊髓路の機能は残存している可能性がある。ちなみに中脳の外側部分には海馬が存在する。この部分が萎縮し隙間が多く見えてきている場合は、アルツハイマー型認知症が疑われる。

④ 橋レベル

橋では、皮質脊髓路は横橋繊維によって小束に分断される¹⁰⁾。そのため、橋前部でラクナ梗塞が起こった場合には症状は限局的で、予後も良好であることが多い。

⑤ 延髄レベル

延髄ではその前面に二つの峰があり、錐体と呼ばれている。皮質脊髓路はこの部分を通過して、多くは反対側へ交差 (錐体交差) し、脊髓に至る。延髄内側梗塞では錐体路の損傷により運動麻痺を呈し、血管構造的な特性から両側

性の梗塞に陥り、四肢麻痺を呈することがある。また外側の梗塞はワレンベルグ症候群と言われ、同側の小脳性運動失調や顔面の温痛覚消失、反対側の半身の温痛覚消失など多彩で特異的な症状を呈する。

【脳画像学習のポイント】

脳の解剖や機能は難解なイメージがあり、脳の画像を勉強してみたい、とは思っても学習は進みにくいのではないだろうか。筆者は学生時代から脳画像に対して強い興味の偏重があったこともあって、独自に以下に挙げる2つのポイントを重視しながら学習や、新人への指導を意識してきた。

1. 絵を描く (平面的な理解)

まず初めに試してほしい方法は、上記6スライスを用紙に描写していく方法である。左側に内部構造の名称、右側にその機能を書き込んでいく事によって知識を整理し、それを見比べながら脳画像読影の際の資料とするのである。見てイメージするだけではなく、書くという行為によって記憶にも定着しやすい。何回も書く事によって運動学習の要領で記憶に定着させていくという方法である。

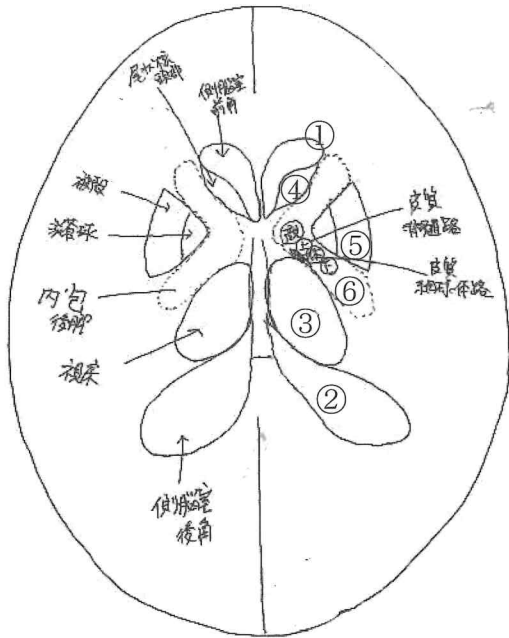


図6 脳画像の描画

実際の脳画像よりも、描画ではランドマークやその相互の位置関係が理解しやすいため、実際はたくさんの脳溝（しわ）や病変などが存在し、その境界が明瞭でなく、または浮腫などによって位置関係が把握しづらい場合でも、構造物がどのような位置に本来あるのかイメージしやすくなると考えている。

絵を描く際に最も難渋するのは内部構造が密集している基底核レベル（図6）であると思われる。このレベルではまず、側脳室から描く。前角を羽のように描き（①）、次に後角を描く（②）。前角と後角の間で、その下方には第三脳室が存在するが、その外側に視床を、脳室に接するように描く（③）。視床は楕円形で、視床の前側を内向きに、後側をやや外側に配置する。次に側脳室に包み込まれるようにして存在する尾状核の頭部を、側脳室前角の羽のくぼみの部分に描く（④）。そして最後にレンズ核は、頂点を内向きに倒した三角形を、視床と尾状核の間で少し外側に描く（⑤）。そうして尾状核とレンズ核、視床の間に出来た「く」の字が内包である（⑥）。

2. 内部構造を立体的にイメージする

次にもう一つ重要なことが、脳の内部構造を図7のよ

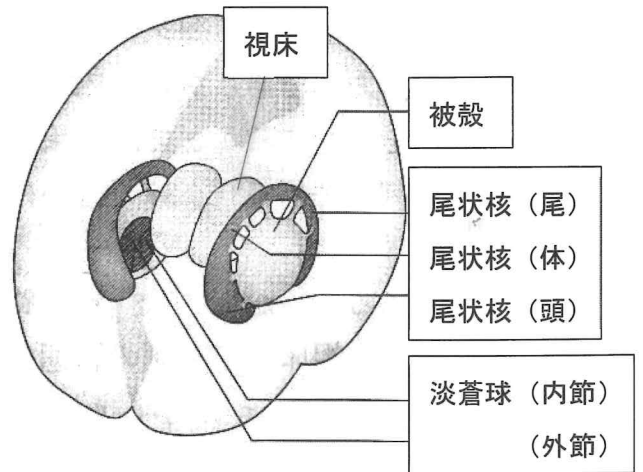


図7 大脳の内部構造（文献11より一部改変して引用）

うに立体的にイメージすることである。中心には卵型の視床が左右並んで配置されており、少し距離をとってレンズ核が視床を見つめるように位置している。そして被殻を包むように囲んでいるのが尾状核で、さらにその尾状核の上内側を包むように取り囲んでいるのが、側脳室である。これを先ほど描いた基底核レベルの脳画像にあてはめると、視床の前外方にレンズ核、それを取り囲むようにしている尾状核は、このレベルのスライスでは頭部のみが写り、さらにその尾状核を包み込んでいる側脳室は前角と後角が写る、ということが理解できるのではないだろうか。スライスを上に移し側脳室レベルでは、基底核レベルでは見えていなかった側脳室の体部が見えている。このように脳の内部構造を立体的に捉えることができれば、今回紹介した6枚のスライスのみでなく、上下に変化していく脳画像を立体構造に即してイメージをしながら理解していく事が可能となると考えている。

【脳画像から運動麻痺を捉える】

脳画像と臨床症状は一致しないことがある。発症後早期には、脳浮腫による錐体路繊維の圧迫や、直接的な損傷

でなくとも関連した部位の損傷によって神経線維で結ばれているために起こる血流や代謝の低下によって引き起こされるいわゆる機能解離 (Diaschisis) という状態が見られ、実際にはその時期を脱すれば劇的に改善を見せる可能性があるが、早期介入時点では、重度の片麻痺を呈してしまっている場合もある。うつや意欲の低下など前頭葉機能の障害などによって動きが出ない、ということも想定される。そのような時に、脳画像上の所見と照らし合わせることによって、急性期を脱すれば回復の見込みが大きいのかどうかを予測できる。これは装具療法を考えると重要である。重度片麻痺者の歩行再建に対しては現在、早期から長下肢装具装着などによる積極的な歩行練習や麻痺側下肢への荷重刺激などが推奨されているが、上述のような劇的回復を経験したことがあるがゆえに、処方から完成までに時間のかかる長下肢装具を選ぶにくい、作った時にはもう必要ないのでは、という思いに至っていないだろうか。そこで脳画像を活用し、その症状は直接的な皮質脊髄路や皮質網様体脊髄路の損傷の可能性が高いかどうかを確認してほしい。もし損傷が確認できないのであれば、劇的回復を見せる可能性があるが、拡散強調画像 (DWI) において皮質脊髄路に病変が及んでいればそれは非可逆的な脳損傷を意味し、麻痺は重篤であり遠位筋は回復が困難で、将来的に短下肢装具は必要かもしれない。しかし長下肢装具を用いた積極的な歩行練習などにより、皮質網様体脊髄路が賦活され、体幹や下肢近位筋の機能が促通されることによって歩行能力が改善する可能性がある。また、皮質網様体脊髄路にも病変が及び、中枢部の支持機能も失われている可能性が高い症例においても、年齢が比較的若く、半側空間無視や高次脳機能障害が高度でない場合には、長下肢装具による歩行介助訓練や荷重訓練を行う場合がある。これは、皮質網様体脊髄路が両側性に伸びる繊維であることを利用し、非損傷側から両側性に下降する皮質網様体脊髄路の強化によって、体幹や麻痺側股関節の強化を図ることを期待している。この場合は歩行再建もちろん目指すのだが、寝

返りや起居、移乗動作など体幹機能を必要とする最低限の ADL 動作を獲得する意味合いでもあることを念頭に置く必要はあり、これも脳画像を見る意義と言える。

【おわりに】

科学的な知見に基づくリハビリテーションの重要性が強調されている中、脳卒中に対するリハビリテーションはまだまだ経験に基づく介入がなされ、普遍性のあるリハビリテーション介入とはなっていないのが現状である。まずは基礎である脳の機能解剖を学習し、患者が見せる多様な症状を理解した上で、治療プログラムを組み立てていくことが重要であると考え。今回は運動麻痺に焦点を当て、関連する解剖学上のランドマークや神経繊維などを脳画像で確認する方法を示してきた。しかし冒頭でも述べたように、人の行動を考える時には運動制御のみならず、外界の認知、自己身体の認知を含めた認知的処理、運動の計画、運動のプログラミングなどさまざまな過程が存在する。それらを包括的に捉え、理解し、治療の可能性を模索していく事が、次代の理学療法士に求められることであると感じている。

【文献】

- 1) 高草木薫：脳の可塑性と理学療法，理学療法学 37(8)：575-582，2010
- 2) 高草木薫：大脳皮質・脳幹-脊髄による姿勢と歩行の制御機構．Spinal Surgery 27(3)：208-215，2013
- 3) Sang Seok Yeo.et al: Corticoreticular pathway in the human brain: Diffusion tensor tractography study. Neuroscience Letters 508: 9-121, 2012
- 4) 古澤正道：脳卒中後遺症者の歩行の治療．理学療法学 17(1)：33-37，2002
- 5) 吉尾雅春：視床と周辺の機能解剖．PT ジャーナル 52(5)：389-396，2018

- 6) 原 一之：脳の地図帳. pp72-73, 講談社, 2005
- 7) 坂井建雄, 河田光博：プロメテウス解剖学アトラス
頭部/神経解剖, 医学書院, 東京, pp377
- 8) 乾 哲也, 山口 祐太郎, 他：後外方に拡がる被殻出
血と理学療法. PT ジャーナル 50(7) : 653-658, 2016
- 9) 野田裕太, 他：前腹側核を中心とした視床出血と理
学療法. PT ジャーナル 52(5) : 415-423, 2018
- 10) FitzGerald: カラー臨床神経解剖学 機能的アプロー
チ, 西村書店, 2006
- 11) 高倉保幸：線条体の障害と理学療法. PT ジャーナル
47(1) : 27-31, 2013