ISSN 2434-7140

大阪保健医療大学

Bulletin of Osaka Health Science University

大阪保健医療大学
紀 要

第２号

２０１９

大阪保健医療大学紀要

第 2 号（2019）

目　　次

事例報告

身体図式障害に着目した理学療法介入によって右視床出血後に生じた姿勢調節障害が改善した一症例 …… 1
津村　宜秀、岩田　篤、石倉隆

事例報告

視床損傷例における衝動的行動の発現機序 …… 8
池上　浩平、石倉 隆

学術論文

水平面画像を用いた投球動作における“膝割れ”の定量的評価 …… 18
森下　聖、境 隆弘

学術論文

resting state fMRI による脳機能ネットワークの解析
—CI 療法前後の functional connectivity の変化— …… 27
酒井　涼、石倉　隆、山田　克範、小林　康孝

大阪保健医療大学紀要 (2019 年 3 月 31 日発刊)
Bulletin of Osaka Health Science University
Vol.2　pp.1-7　　ISSN: 2434-7140

事例報告

身体図式障害に着目した理学療法介入によって 右視床出血後に生じた姿勢調節障害が改善した一症例

津村宜秀 (大阪保健医療大学)　岩田篤 (大阪保健医療大学)

石倉隆 (大阪保健医療大学大学院)

One case study of a patient after the right thalamus hemorrhage whose postural dysregulation had been ameliorated by the physical therapy intervention focusing on his body schema disorder

Yoshihide TSUMURA(Osaka Health Science University), Atsushi IWATA (Osaka Health Science University),
Takashi ISHIKURA (Graduate School of Osaka Health Science University)

（2018 年 10 月 10 日受付，2019 年 2 月 12 日受理）

Summary

この度、姿勢調節障害によって ADL（Activity of Daily Living）が大きく阻害された視床出血患者を担当した。併発した病態失認や着衣失行などの高次脳機能障害のメカニズムから身体図式障害の関与が疑われ、脳機能解剖学的分析に基づいて運動主体感に着目したアプロ―チを行ったところ、姿勢調節障害及び ADL の改善が得られた。本症例報告では脳機能解剖学的分析および、理論の背景や治療結果を含め報告する。身体図式に関しては未だ不明な点が多いが、身体図式に関する知見の集積およびそれらの理学療法分野への浸透により、理学療法の発展に寄与するものと考える。

キーワード：身体図式，姿勢調節障害、脳機能解剖学的分析、運動主体感
Keywords：body schema, postural dysregulation, anatomical analysis of brain function, sense of self-agency

1. 序論

身体図式とは「視覚的、触覚的、運動感覚的な空間印象が総合されたもの」[1)]と定義されているが、未だ確立されたものはない。しかし身体図式は、病態失認や失行[2)]、姿勢制御[3)]、転倒[4)]などとの関連が指摘されていることから、日常生活動作に携わるリハビリテーション領域においては重要なキーワードと考えられる。

今回、姿勢調節障害によって座位および立位姿勢が安定せず、日中ほとんどの時間をベッド上で過ごす症例を担当した。本症例は姿勢調節障害が生じる原因と考えられる筋力低下や感覚障害[5)]、運動失調[5)]、意識障害[5)]、半側空間無視などの注意障害[6)]を認めない一方で、高次脳機能評価結果より病態失認、着衣失行、構成障害を認めたことから、その背景にある身体図式障害が姿勢調節障害に影響していると考えた。

本稿では、姿勢調節障害の原因追求と、そこで明らかになった身体図式障害を神経機能解剖学的に分析し、身体図式障害に対する治療理論を提案するとともに、実際の治療効果についても報告する。

なお、倫理的承認は大阪保健医療大学研究倫理委員会の承認（承認番号 1401）を得たうえで、本人に書面にて本研究の趣旨を説明し、同意を得た。

2.　症例と問題点

70 歳代男性。30 歳代より高血圧症を罹患、腎機能悪化のため 5 年前より 3 回/週、A 病院で透析療法を実施していた。平成 X 年 Y 月下旬の深夜に自宅で倒れているところを家族に発見され B 病院へ救急搬送。頭部 CT（computed tomography）（Figure 1）にて右視床に 3cm 大の血腫を認め、右視床出血の診断にて入院となる。血腫は内包、被殻にまで及んでいた。その後はニカルジピン持続静注にて降圧を図り、血圧管理は良好であった。B 病院では発症翌日よりリハビリテーションが開始され、当初は左半側空間無視や重度感覚鈍麻が見られていた。第 27 病日にリハビリテーション目的で A 病院に転院、翌日より理学療法と作業療法が開始となった。

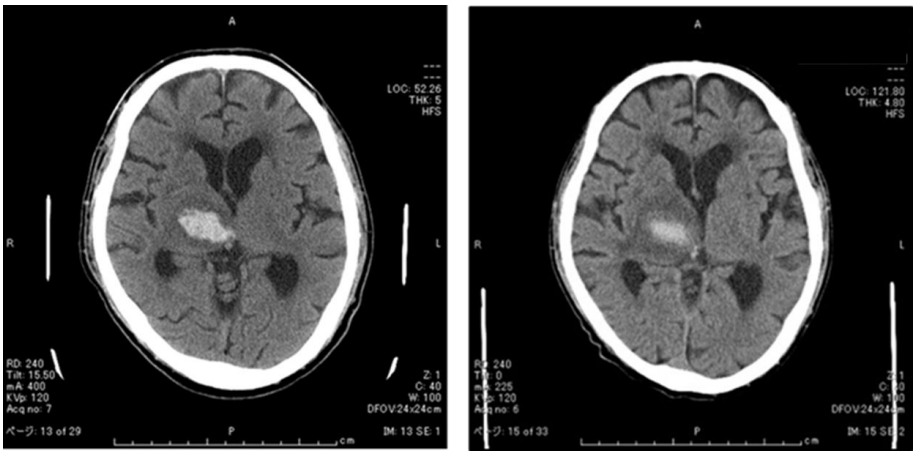

Figure 1.頭部 CT 画像（左：発症時　右：転院時）

初期評価時、意識清明、運動機能では左弛緩性不全麻痺を呈しており、BRS（Brunnstrom recovery stage）では上肢Ⅱ、手指Ⅱ、下肢Ⅲ、MAS（modified Ashworth scale）では上下肢ともに 0 であった。感覚検査は表在感覚（左/右）8/10 であったが本人はあまり左右差を認識していなかった。深部感覚（左/右）は 10/10 であった。また異常感覚として右上下肢に比して左上下肢が重いと感じており、右上肢に重錘を把持させることで左右差を比較したところ、その差は 0.75 ㎏であった。起居動作では麻痺側を忘れることがあるため介助を要し、座位および立位姿勢では麻痺側の前後方への姿勢の崩れを認めた（Figure 2 左、中央）。また姿勢が崩れていても自覚はなかったが、鏡を用いることで姿勢保持時間は延長し、口頭指示での姿勢修正も可能であった（Figure2 右）。

Figure 2.入院時　座位姿勢（左）　立位姿勢（中央、右）

高次脳機能は日常生活でのコミュニケーションに支障はなかった。しかし、実際には歩けないにも関わらず「歩ける」と言ったり「車に乗って帰る」と発言したりするなど、自身の身体機能に見合わない発言がみられたため病態失認を呈していると判断した。片麻痺に対する病態失認スコアは、麻痺側に関する口頭質問では障害の認識はなかったが、視覚的に麻痺側の状態が確認できるとその存在を認めたことからスコア 2 と判断した。半側性の病態失認には、指摘されても麻痺肢を否定する片麻痺否認と、指摘されると一応は認めるものの動かないことを言い訳する片麻痺無認知、さらには片麻痺の存在に気付いているがそれに対する深刻さに欠け、ADL 上特に配慮しない片麻痺無関心があるとされる [7]。本症例はそのなかでも片麻痺無関心を呈していると考えられた。

その他、線分二等分試験や線分抹消試験など方向性注意障害を疑う所見には異常は見られなかったが、注意散漫な様子がみられ、TMT（trail making test）Type A は 250 秒（カットオフ値 117.5 秒 [8]）で完遂するも何度もペンを浮かしてしまうなどエラーがあり、Type B は実施困難であったため、全般性注意障害が疑われた。さらに立体図形の模写が困難（Figure 3）であり、更衣時に左右の袖を間違えるなど構成障害や着衣失行がみられた。

以上より、本症例は複数出現している高次脳機能障害により座位および立位保持が困難となっており、この根底にある姿勢調節障害を改善することが機能改善や ADL、QOL（quality of life）向上に繋がると考えられた。

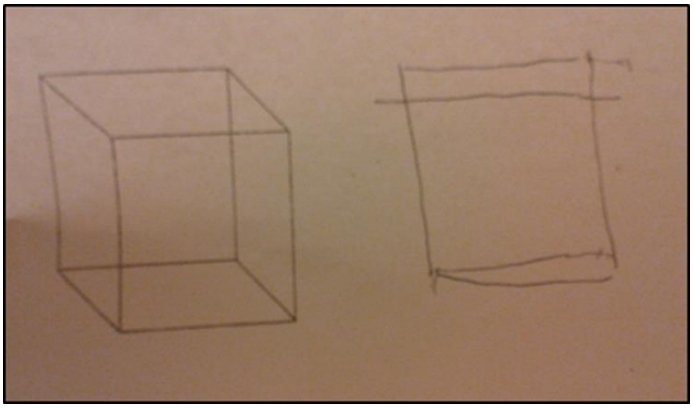

Figure 3.模写課題の結果

3. 小考

3.1 姿勢調節障害の原因分析

姿勢調節障害の原因として筋力低下や感覚障害、運動失調、意識障害、半側空間無視が挙げられる。本症例は鏡を用いることや口頭指示にて姿勢の修正が可能であったことから筋力低下が大きく影響しているとは考えられない。感覚障害も表在感覚にのみ極軽度の鈍麻を認めたが、これも姿勢調節障害の主たる要因とは考え難い。またその他運動失調等も認めなかったことから、本症例の姿勢調節障害は純粋な運動機能障害によって生じているものではないと考えられる。

一方で、高次脳機能評価結果より、本症例は着衣失行、片麻痺無関心（病態失認）、構成障害を呈していると考えられる。着衣失行のメカニズムを Fitzgerald ら [9]は視空間認知の障害として捉え、身体図式が関与していると報告している。また病態失認のメカニズムに関しても身体図式が関与 [10][11]していると報告されており、右半球損傷の場合、この両者は高率で合併する [12]とされている。さらに構成障害のメカニズムにおいても、特に右半球損傷例においては視空間認知の障害が関与する [13]と報告されている。視空間認知の障害は脳内表象の障害が関与すると考えられ、脳内表象は身体図式を元に行っていると考えられている [14]。以上より、本症例の高次脳機能障害の病態背景には、共通して身体図式障害の関与が疑われる。身体図式とは、無意識下で運動に応じた自身の身体に起こる位置変化や身体全体のなかで占める位置関係等を自身に提供するものと想定されており、運動はこれらの身体図式を基盤とした無意識的な身体の連続的な統合により可能になると考えられている。また、これらの統合は頭頂連合野でなされており、その情報が前頭葉に送られることで身体制御に関与することが指摘されている。運動に伴う様々な身体制御のうち、姿勢反射、姿勢調節機能においても身体図式が関与する [15]ことが報告されていることから、本症例の姿勢調節障害は身体図式障害によって生じているものと考え、脳機能解剖学的分析によって検証を行った。

3.2　身体図式障害の原因分析/脳機能解剖学的分析（Figure 4）

身体図式は体性感覚系とは異なり、それを直接感知するに相当する受容器は存在しない。そのため、身体図式を形成するには、身体各部から入力される体性感覚情報を統合する必要がある。内藤ら [16]は運動錯覚を用いた身体認知時の脳活動の結果から、触覚、固有感覚情報は頭頂感覚連合野で統合されて身体図式を形成するとしており、Rousseaux ら [17]は身体図式の精緻性には頭頂葉に入力される体性感覚情報と視覚情報が関係していると報告している。このように身体図式には末梢から入力されるあらゆる感覚情報が必要となるが、単に感覚情報を入力すれば良いという訳ではない。Schwoebel ら [18]は感覚情報と遠心性コピー（efferent copy）に運動時のエラー情報を統合することによって姿勢を適切に保つことが出来るとし、下頭頂領域と同様に運動野、補足運動野の活動を確認している。内藤ら [16]も身体図式の形成に重要な右半球の前頭－頭頂領域の神経線維は多く太いために速い情報処理が可能となり、矛盾のない一貫した身体知覚を可能にしていると報告している。またこの領域は上縦束腹側分枝によって前島皮質や腹外側前頭前野とも繋がることが報告されており、高次の自己意識の形成に関与すると考えられている。以上より、身体図式障害はこれらのネットワークがどこかで傷害された場合に生じると考えられる。

大橋ら [19]は、病態失認患者の多くが右運動前野領域、頭頂間溝領域、島を損傷しており、四肢の自己帰属と機能面への認知に重要なこれらのネットワークの一部の損傷が病態失認の発症原因ではないかとしている。また着衣失行に関しても、多くは右上頭頂小葉や右頭頂後頭葉病変を有しており、改善例には両側前頭葉内側や頭頂葉の血流増加が関与していた [9]と報告されている。さらに近藤ら [20]は、構成障害を合併した筋萎縮性側索硬化症患者 2 名を対象に脳 SPECT（Single photon emission computed tomography）を測定したところ、頭頂葉の血流低下を認めたことを報告している。これらの知見は、片麻痺無関心、着衣失行、構成障害が、いずれも頭頂葉、特に頭頂連合野病変と関連があることを示しており、共通の問題として身体図式障害が存在することを示唆している。

頭部 CT 画像（Figure 1）より、本症例は、視床外側腹側核（以下、VL 核）、視床外側後腹側核吻側部（以下、VPLo 核）、後外側核（以下、LP 核）の損傷が考えられる。VL 核と VPLo 核は運動前野領域と線維連絡があり、前者は運動の企画、準備と密接に関わり、後者は現在遂行中の運動制御に重要な役割を果たしている [21]。一方、LP 核は頭頂連合野との連絡があり、その損傷によって姿勢定位障害が生じたとの報告がある [22]。また視床梗塞によって頭頂連合野の血流低下を認め、片麻痺無関心 [23]や構成障害 [24][25]、また着衣失行 [26]が生じた症例が報告されているが、これらも LP 核損傷による身体図式障害を基盤とした症状であった可能性がある。以上より、本症例は LP 核損傷によって頭頂連合野の機能低下が生じ、それに伴い身体図式障害が出現した結果、片麻痺無関心や着衣失行、構成障害に加え、姿勢調節障害を引き起こした可能性があると考えられた。

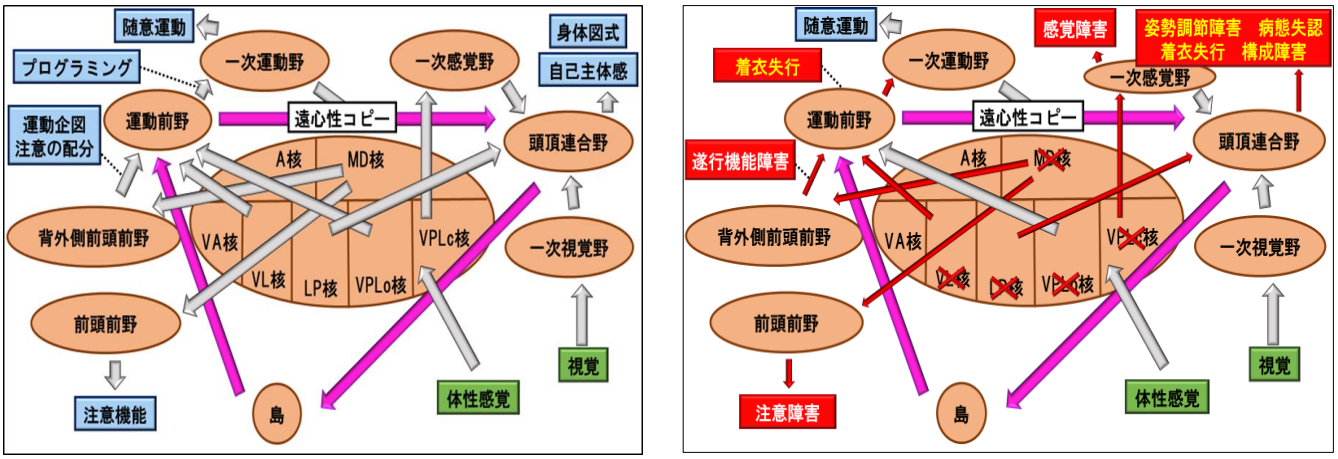

Figure 4.身体図式障害の脳機能解剖学的分析（左：正常　右：本症例の障害像）

4. 介入

治療方法としては、リハビリテーション中は基本的に鏡を使用し、常に視覚的注意を向けられる環境を設定した。その環境下で輪投げを利用した前方リーチ動作を、左上肢のみではなく、両手で把持した状態で左右均等に運動することを意識させた。実際には左右均等な運動は困難なため必要な個所は介助を加えた。これにより努力性が軽減され、本人から「腕が軽くなった」という発言が聞かれた。このように左上肢のエラー情報を可能な限り起こさせず、左上肢の自己認知を促した。また座位姿勢では左上肢をアームスリングに吊るさず、自身の大腿の上に置き、左右均等に腕の重みが加わっていることを認識させ、さらに鏡にて右肩甲帯の挙上が起こっていないことを自己認知させた。立位姿勢でも同様に左上肢をセラピストが介助し、左右均等の重みであることを意識させた。この際も過剰に右上下肢に体重を乗せて支持する様子が見られたが、鏡にて自己修正するよう促した。また治療実施中は言語的に常に指示を与えて、自己の感覚に集中させた。

上記治療に加え、ベッド上での基本的理学療法や立位・歩行練習を含めたリハビリテーションを 1 日に 2 回（透析日は 1 回）、1 回につき 1 時間実施した。

5. 治療効果

第 66 病日の理学療法評価では、BRS は上肢Ⅲ、手指Ⅱ、下肢Ⅲであり、MMT（manual muscle testing）は左膝伸展筋力が 3～4 レベルまで向上し、SLR（straight leg raising）も可能となった。着衣失行は認めなくなった。片麻痺に対する病態失認スコアは、麻痺に対する深刻さに欠ける面が残存していたが、左不全麻痺を認識する発言がみられ、麻痺の存在を認識している状態であったためスコア 1 と判断した。左上肢の重量感は 0.25kg 以下にまで軽減し、普段の生活から動作を行う際には左上肢を使用することを心掛けるようになっており、左上肢を右上肢で支えながら口元を拭いたりする行動も見られるようになった。起居動作に関しては見守りから軽介助を要し、時に左上下肢をベッド上に残したまま起き上がろうとすることがあったが、端座位保持に関しては見守りレベルとなり、立位保持に関しても左右の大きな崩れは見られず、右手支持の状況において 10 分以上の保持が可能となった（Figure 5）。

Figure 5.第 66 病日　端座位姿勢（左）　立位姿勢（右）

Figure 6.第 66 病日　頭部 MRI　T2 強調画像

6. 考察

最終評価時の頭部 MRI 画像（T2 強調画像）（Figure 6）では LP 核の損傷は残存しているが、最終評価の結果より本症例の姿勢調節障害は改善し、また麻痺側理解や使用頻度の向上など、左上下肢に対する認知も向上した。今回の治療効果は身体図式の生成や自己主体感の形成を促進した効果と考えられ、これらが姿勢調節機能の改善に関与していると考えられた。

今回は意識的な視覚的注意と重量感に着目して介入を行った。本症例の姿勢調節障害は身体図式障害により生じていると考えられたため、身体図式の生成を正確に行うことで自己主体感を生じさせ、左半身への注意と認知を

向上させることで姿勢調節機能を向上させる必要があると考えられた。身体図式障害は LP 核損傷による頭頂連合野の機能低下が原因と考えられたが、LP 核は頭頂連合野と上丘から入力を受け、再度頭頂連合野へと出力するとされている。特に Brodmann area5 野、7 野と連絡し[27)28)]、LP 核内では情報統合が行われていると考えられている。また、上丘は無意識的な視覚認知に、視覚背側経路は意識的視覚認知に関与するとされているが[29)]、本症例は LP 核が損傷されていることから、上丘を経由する視覚情報の統合処理は困難であると考えられた。そこで常に視覚的注意が向けられるような環境調整を行い、視覚背側経路の利用を図ったことで情報統合の機能代償が得られたのではないかと考える。

また平谷ら[30)]は病態失認患者に対し自己/運動主体感を獲得させていく中で、言語的介入で知覚経験を意識化させ、気づきを促すことを治療方略として考案している。自己/運動主体感を生起させるためには運動の遠心性コピー情報である「結果の予測」と感覚の FB（feed back）情報である「実際の結果」とが一致していることが必要[31)]とされており、それらの間に大きな乖離が生じた場合、自己/運動主体感は損なわれ、身体図式形成に影響を及ぼすと考えられている。今回着目した重量感は、運動領野からの運動指令と比較した筋紡錘からの Ⅰa 群インパルスの量が関係し、Ⅰa 群インパルスの量が少ないことで頭頂連合野に戻る FB 情報が減少してそれを感じる[32)]。本症例は弛緩性麻痺であり生理的筋緊張が低下しているうえ、麻痺側上下肢を十分に動かすことが出来ないことで Ⅰa 群からの FB 情報が減少し、その結果異常な重量感を感じていると考えられる。これは、「予測に対し結果が不足している」状態であり、自己/運動主体感を生起させにくい状態であることから、身体図式形成を阻害してしまうと考えられた。介入では両上肢で行う課題を遂行したが、左右同様の動きをすることで本人の動きをモニターすることができ、重量感を感じさせないための介助に繋がったと考える。それによって自己/運動主体感を獲得させることができたと考えられた。

しかし、その他の運動機能である筋力や筋緊張にも改善が見られており、姿勢保持能力の向上にはこれらも関与していた可能性は否定できない。また起居動作時の上下肢の忘れについては、現状でも無意識下でのコントロールは不十分な状況である。大橋ら[19)]も鏡を用いた治療によって言語的には自己身体を認知したものの、動作面に反映されない病態失認患者を報告している。今後は特に、無意識下の状態で動作に反映される身体図式の形成を考慮した治療の考案が必要であると考えられた。

7. 結語

今回、姿勢調節障害を有する症例に対し、合併していた片麻痺無関心および着衣失行ならびに構成障害に関する脳機能解剖学的分析を行った結果、姿勢調節障害の背景には身体図式障害が存在する可能性が示唆された。そこで、理学療法介入として姿勢調節障害の根本原因と考えられた身体図式障害に関連する自己/運動主体感に着目したアプローチを計画し実施した。無意識下の状態での動作に反映することには課題が残ったが、言語的病態理解と姿勢制御に関わる動作改善は得られたため、身体図式障害を有する姿勢調節障害患者に対して、自己/運動主体感に着目したアプローチは有効である可能性が示唆された。

身体図式に関しては未だ不明な点が多いが、身体図式に関する知見の集積およびそれらの理学療法分野への浸透により、理学療法の発展に寄与するものと考える。

文　　献

1) Head H，Holmes G：sensory disturbances from cerebral lesions．Brain 34：102-254，1911.
2) 鶴谷奈津子，小早川睦貴：身体図式の障害．BRAIN and NERVE 66 (4)：351-361，2014.
3) 後藤淳：感覚入力における姿勢変化．関西理学療法 10：5-14，2010.
4) 山田実，上原稔章：運動イメージ想起能力の年代別基準値の作成および高齢者における転倒との関係-手・足の写真によるメンタルローテーションを用いた検討-．理学療法科学 23 (5)：579-584，2008.
5) 内山靖：姿勢の調節．理学療法科学 10（4）：221-231，1995.
6) Dominic AP，Catherine L，Bernard A et al.：Transcutaneous electric nerve stimulation reduces neglect-related postural instability after stroke．Arch Phys Med Rehabil 82：440-448，2001.
7) 鈴木匡子：身体失認と病態失認．平山恵造，田川皓一（編）：脳血管障害と神経心理学（第 2 版），pp.283-287，医学書院，2013.

8) 上城憲司，井上忠俊，西田征治・他：地域在住高齢者における注意機能と心身機能との関連性-Trail Making Test のカットオフ値．地域リハ 11(7)：480-485，2016.
9) Fitzgerald LK，McKelvey JR，Szeligoet F et al：Mechanisms of dressing apraxia: a case study．Neuropsychiatry Neuropsychol Behav Neurol 15（2）：148-155，2002.
10) 大東祥孝：病態失認の捉え方．高次脳機能研究 29（3）：295-303，2009.
11) Kenneth MH：Possible mechanisms of anosognosia of hemiplegia．Cortex 61：30-42，2014.
12) 横山絵里子，中野明子：頭頂葉に関連する高次脳機能．高次脳機能研究 28（2）：184-191，2008.
13) 平林一，坂爪一幸，平林順子・他：左右半球損傷による構成障害の質的差異についての検討．失語症研究 12（3）：247-254，1992.
14) 朝倉暢彦，水原啓暁，笹岡貴史・他：身体図式を基礎とした動的イメー ジ生成の脳内メカニズム(2)-物体のイメージと認識-．信学技報 NC2010-147 14：119-124，2011.
15) 山下謙智，伊東太郎，東隆史・他：多関節運動学入門　第二版，pp141-180，ナップ，2012.
16) 内藤栄一，守田知代：ヒトの身体図式の脳内表現と身体的自己意識．BRAIN and NERVE66 (4)：367-380，2014.
17) Rousseaux M，Honore J，Saj A et al：Body representation and brain damage．Neurophysiologie Clinique44：59-67，2014.
18) Schwoebel J，Coslett HB：Evidence for multiple,Distinct representations of the human body．Journal of cognitive neuroscience 17 (4)：543-553，2005.
19) 大橋良浩，大東祥孝：病態失認 1 例への治療的介入と臨床経過．神経心理 26：77-84，2010.
20) 近藤正樹，大道卓摩，向井麻央・他：認知症をともなう筋萎縮性側索硬化症における構成障害と頭頂葉血流低下．臨床神経 55：320-326，2015.
21) 中野勝磨：視床の機能とは．Clinical Neuroscience 31(1)：16-19，2013.
22) 乾哲也，山口祐太郎，山本純也・他：視床出血における出血の進展方向と歩行予後について．Http://www.congre.co.jp/jpta48/jpta48_ver4/pdf/O-B_shinkei-147.pdf（閲覧日 2015 年 7 月 20 日引用）
23) 橋本洋一郎，寺崎修司，原靖幸・他：左片麻痺に対する病態失認を来した右視床梗塞．脳卒中 20：276-2801，1998.
24) 安藤喜仁，菱田良平，橋本律夫・他：右前脈絡叢動脈領域梗塞により左半側空間無視，構成障害および漢字失書を呈した 1 例．脳卒中 36（2）：76-81，2014.
25) 鶴岡はつ，千葉文恵，新井弘之・他：視床出血例の構成機能 左側例と右側例との比較．失語症研究 7（4）：273-281，1987.
26) 元村直靖：失行症のみかた．Journal of Clinical Rehabilitation21（1）：35-41，2012.
27) 小田哲子，黒田優：解剖学的基礎．Clinical Neuroscience31（1）：20-23，2013.
28) 松岡宏明：ネコの前および中シルビウス上回への視床投射機構に関する研究．岡山医学会雑誌 94（5-6）：567-580，1982.
29) 大東祥孝：「気づき」の障害．高次脳機能研究 33（3）：293-301，2013.
30) 平谷尚大，沖田学：病態失認における自己意識性の障害要素についての修正版グラウンデッド・セオリー・アプローチによる分析．https://www.jstage.jst.go.jp/article/cjpt/2011/0/2011_Bb1411/_pdf（閲覧日 2015 年 6 月 29 日引用）
31) 浅井智久，丹野義彦：自己主体感における自己行為の予測と結果の関係―行為主判別に対する学習課題を用いた検討．パーソナリティ研究 16（1）：56-65，2007.
32) McCloskey DI：Kinesthetic Sensibility．Published and Copyright by The American Physiological Society58（4）：763-820，1978.

著者連絡先：津村　宜秀　〒530-0043 大阪府大阪市北区天満１丁目９番２７号　大阪保健医療大学
email: yoshihide.tsumura@ohsu.ac.jp

©津村宜秀、岩田篤、石倉隆

大阪保健医療大学紀要 (2019 年 3 月 31 日発刊)
Bulletin of Osaka Health Science University
Vol.2 pp.8-17 ISSN: 2434-7140

事例報告

視床損傷例における衝動的行動の発現機序

池上 浩平 (西大和リハビリテーション病院) 石倉 隆 (大阪保健医療大学大学院)

Mechanism of impulsive behaviors in cases of thalamic injury

Kohei IKEGAMI (Nishiyamato Rehabilitation Hospital), Takashi ISHIKURA (Osaka Health Hospital),

（2018 年 11 月 24 日受付，2019 年 3 月 21 日受理）

要旨

衝動性は、早期の決定を下すこと、即時の満足を優先すること、運動の反応を抑制することの困難さを含む一連の行動を指す。多くの脳機能研究では、衝動的行動や行動の抑制には前頭前野が重視されている。また、皮質下の損傷でも衝動的行動が起こることが明らかにされている。脳卒中により衝動的行動の抑制が困難となれば、身体・生命の危機に陥る行動選択をする可能性があり、家庭復帰の阻害要因になりうることから、リハビリテーションの重要な治療対象と考えられる。しかし、脳卒中患者における衝動的行動の機序は十分に検討されていないように思われる。本報は衝動的行動を呈する脳卒中患者を通して、脳機能解剖学による衝動的行動の機序を検討した。

Summary

Impulsivity refers to a series of actions including the difficulties of suppressing a too quick decision without discreet consideration, a desire to give priority to immediate satisfaction, and an inappropriate movement. Many brain function studies have demonstrated that the prefrontal cortex has emphasized functions for suppression of inappropriate behaviors. It has been clarified that subcortical injuries can cause the impairment to control impulsive behaviors. As it becomes more difficult for a patient to return his/her home after hospitalization if he/she has impulsive behaviors, the treatment of this impairment is very important. However, the mechanism of the impulsive behaviors in stroke patients has not been fully studied. In order to investigate the mechanism of the impulsive behaviors in patients with thalamic damage, we examined a patient based on the cerebral functional anatomy.

キーワード：衝動性，大脳皮質―基底核ループ，背外側前頭前野，眼窩前頭皮質
Keywords：Impulsivity，cortical- basal ganglia loop，dorsolateral prefrontal cortex，orbitofrontal cortex

1. はじめに

衝動性は、早期決定や即時満足の優先や運動反応を抑制することの困難さを含む一連の行動を指す[1)]。Eysenck[2)]は、衝動性を計画外の危険な行動によって特徴づけており、Dickman[3)]は思考の少ない行動をとることであるとしている。衝動性の構成要素は単一ではなく、異なった基礎的な認知・感情などの複雑な神経プロセスを反映している[4)]。Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders-V(DSM-V)と International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems-10(ICD-10)によれば、衝動性は人格障害や双極性障害などいくつかの障害の診断基準とされているが、衝動性の定義、その主要な構成要素、測定技術の不一致は衝動性の包括的な理論を形成することを困難にしている[5)]。

現在の衝動性研究では、構造因子を明らかにする研究が主流であり、その構造因子は大きく分けて trait と state

に分けられる[6]。Trait は特定の行動様式を決定する個人のより安定した特徴と定義されており、認知機能を活用していない場合に自然に表出する判断や行動を指す。Trait の異常は attention deficit hyperactivity disorder（注意欠陥・多動性障害）、薬物中毒、統合失調症など多くの精神疾患を特徴づける。注意欠陥・多動性障害の子供でみられる様々な状況で待つことができないことや質問の終わりまでに応答してしまうことは、無関係の思考あるいは集中した認知処理を妨害する不適切な感情の発現を抑制することができないことの結果である[6]。State は特定の刺激に反応し、個人内部が変化して行動に影響を与える状態を指し、知覚-運動課題のパフォーマンスの低さおよび計画の困難性、すなわち実行機能の破綻と関連している[7]。現在では探索的因子分析研究により state の各側面を捉える因子として motor impulsivity、temporal impulsivity、reflection impulsivity が報告されている[1)8)]。

Motor impulsivity とは、反応すべきではない刺激に対する不適切な運動反応を指し[9]、反応抑制と同等の意味を指す[5]。Temporal impulsivity とは報酬に対する感受性および長期的なものに対する短期的な利益の好感度を指す。この因子は遅延報酬パライダムによって測定される[10]。Reflection impulsivity は早さと正確さが両立しにくい課題解決場面で現れる不確実な反応を表す[11]。衝動的行動は精神疾患のような非器質性疾患や脳外傷等の器質性疾患のどちらにおいても現れる。非器質性疾患では神経伝達物質の分泌の変化により領域の適度な賦活ができず、リスクを軽視したり、欲求が強固になり結果的に衝動的行動の発現に至る。うつ病や強迫性障害の症状として現れる衝動性ではセロトニン濃度低下による前頭葉・線条体の活動低下が起こり、短期報酬予測での過活動、長期報酬予測での活動低下が起こると言われている[13]。一方で器質性による衝動性では脳損傷により損傷された領域の機能が欠損することにより損傷領域に関連した衝動性の発現が考えられる。脳外傷の場合、損傷箇所が限局していれば衝動的行動も限局的になると思われる。多くの脳機能研究では、衝動的行動や行動の抑制には前頭前野の働きが重要であることが示されている[12)14)]。また前頭前野の直接的な損傷ではなく視床損傷においても衝動的行動が出現することが報告されている。例えば福武[15)]は、感情を爆発させたり、行動の順序を省略し突発的に行動したりする左視床損傷者症例を報告している。また、伊林ら[16)]は両側視床梗塞例で検者の注意にもかまわず同じ動作を繰り返す病態を報告している。臨床場面においても視床損傷者が衝動的に行動して危険行動となることがしばしば見られる。脳卒中による前頭前野や視床の損傷により衝動的行動の抑制が困難となれば、身体・生命の危機に陥る行動選択をする可能性があり、家庭復帰の阻害要因になりうることから、リハビリテーションの重要な治療対象である考えられる。衝動的行動や行動の抑制には前頭前野や視床の働きが重視されていることが示されているが、特に視床損傷者における衝動的行動の機序が十分に検討されていないことから病態に基づくリハビリテーションの提供が困難な状況にある。

2. 本研究の目的と方法

2.1　目的

視床損傷によって衝動的行動が出現することは少なくなく、退院後の自立した生活を困難にしている。臨床場面でよく遭遇する病態にも関わらず衝動的行動の機序が十分に検討されていない。また、衝動性に関する概念は様々な提唱がされているが、衝動性検査を含む神経心理学的検査から病態を評価し、衝動的行動に至る機序を脳機能解剖学的に検討した研究は少ない。本報は症例で観察された衝動的行動を、衝動性検査と高次脳機能検査を用いた神経心理学的評価と脳画像診断から検討し、視床損傷後に現れる衝動的行動の機序を脳内ネットワークの観点から考察することを目的とした。

2.2　衝動的行動の評価方法

衝動性検査を用いて症例の衝動性評価を行う。Amy[1)]による衝動性の定義である「早期の決定を下すこと、即時の満足を優先すること、運動の反応を抑制することの困難さを含む一連の行動」に該当する行動を衝動的行動とした。衝動性検査は、衝動性の独立因子として提案されている trait と state[6)]（motor impulsivity、temporal impulsivity、reflection impulsivity）[5)]に対応した検査を実施する。Trait の評価に改訂日本語版 Barratt impulsiveness scale 11（改定日本語版 BIS-11）[17)]、state の下位構造である motor impulsivity には Stop signal task（SST）[18)]、temporal impulsivity には Delay discounting task（DDT）[19)]、reflection impulsivity には Matching familiar figures test（MFFT）[20)]を衝動性検査として採用し実施する。また、衝動性の精査鑑別にあたり高次脳機能検査を適宜実施する。

BIS-11 は Barratt により衝動性構造の trait を測定するために作成された質問紙である。①行動の衝動性、②注意の衝動性、③計画性の無さの 3 つの側面を評価する[17)]。本報では、小橋らによって日本語に翻訳された質問紙（改

定日本語版 BIS-11[17]）を用いて trait を評価する。改訂日本語版 BIS-11 は、「運動的衝動傾向」14 項目、「非計画的衝動傾向」8 項目の 2 因子構造の尺度である。運動衝動的行動はさらに衝動的行動 8 項目・自己制御 4 項目、非計画的衝動傾向は計画の無さ 6 項目・熟慮の欠如 4 項目の下位項目から構成される。これら 22 項目について“全くあてはまらない”から“まさにあてはまる”までの 6 件法で回答を求める。小橋らの研究で得られた衝動性得点と比較するために、本報でも同様に、改訂日本語版 BIS-11 の「運動的衝動傾向」と「非計画的衝動傾向」との 22 項目の得点を合計し項目数で除した値を衝動性得点として用いる。

SST は 2 つの課題からなる。第 1 課題は色や形を弁別し、呈示刺激によって押すボタンを選択する視覚刺激選択反応課題（No signal 条件）を行う。第 2 課題は、第 1 課題試行中ランダムに音刺激が呈示され、そのときは反応しないようにする課題（Signal 条件）である。今回は Verbruggen らが開発したソフトウェア「STOP-IT」[18]を使用する。13.3 型液晶モニターに背景として黒色が映し出され、画面中央に視覚弁別課題の刺激が白色で四角または丸が呈示される。被験者の反応に用いるデバイスとして ELECOM 社製のテンキー“TK2-BT3H”を改良して使用する。丸が呈示されたときはテンキーの「4」を、四角が呈示されたときは「6」のボタンを押すよう指示する。ボタンを押しやすいよう「4」と「6」以外のボタンは取り外し反応ボタンにブロックを取り付け押しやすい仕様にした。視覚刺激弁別課題の刺激呈示時間は 2000ms、タイムアウトも同様に 2000ms とした。試行回数は 1 ブロック 64 試行、合計 3 ブロック試行する。試行内訳は No signal 条件が 75%、Signal 条件が 25%になるよう調整した。SST で得られたデータを基に、No Signal 条件の Reaction time、Signal 条件での反応抑制成功率が 50%となる音刺激の呈示までの時間（Stop-Signal delay；SSD）と“No signal 条件の反応時間の中央値”-“SSD 平均値”から Stop 信号が出てから反応抑制にかかる時間（Stop -signal reaction time；SSRT）を算出した。

DDT は報酬量や報酬をもらえるまでの期間を統制した質問に答える課題である。今回は Kirby らが考案した DDT の質問表を採用した[19]。この課題は計 27 試行で構成され、今すぐ貰える小さな報酬（smaller immediate rewards；SIRs）と一定期間後にもらえる大きな報酬（larger delayed rewards；LDRs）のどちらを選択するかを質問する。遅延する日数や報酬の大きさに関連が出ないように試行順序が構成されている。質問は 13.3 インチモニターに文字が映し出される。Kirby らの DDT はドルでの刺激呈示であるが今回は 1 ドル 110 円と想定し、日本円に換算して呈示する。DDT の結果から k 値が求められる。k 値は割引率を決定するパラメータであり、k 値が高いほど temporal impulsivity における衝動性が高いとされている[19]。

MFFT は、標準図形と同一の形を選択図形 8 択の中から選択することが求められる課題である[21]。総反応時間、正答数を計測し、刺激に対して熟慮して反応しているか評価する。

3. 症例

3.1 症例紹介

基本情報：70 歳代 右利き 男性。
診断名：右視床梗塞。
現病歴：病前は全ての activities of daily living（ADL）自立。屋外歩行中に複視、左片麻痺出現し救急搬送。発症から 25 日後に当院回復期リハビリテーション病棟に入院。
既往歴：高血圧、発作性心房細動。
入院時神経学的所見：左片麻痺、Brunnstrom stage 上肢Ⅴ、手指Ⅵ、下肢Ⅳ。起居動作自立、歩行軽介助、左手指軽度感覚鈍麻。軽度の運動失調がみられた。
病前の活動：全 ADL 自立、自動車運転や勤労、仲間内でスポーツでもトラブルなどなく人格に特記事項なし。
病後の性格の変化：家人に聴取すると病後のほうが他者の話を聞かず自分勝手に行動するようになったとのこと。

3.2 脳画像所見

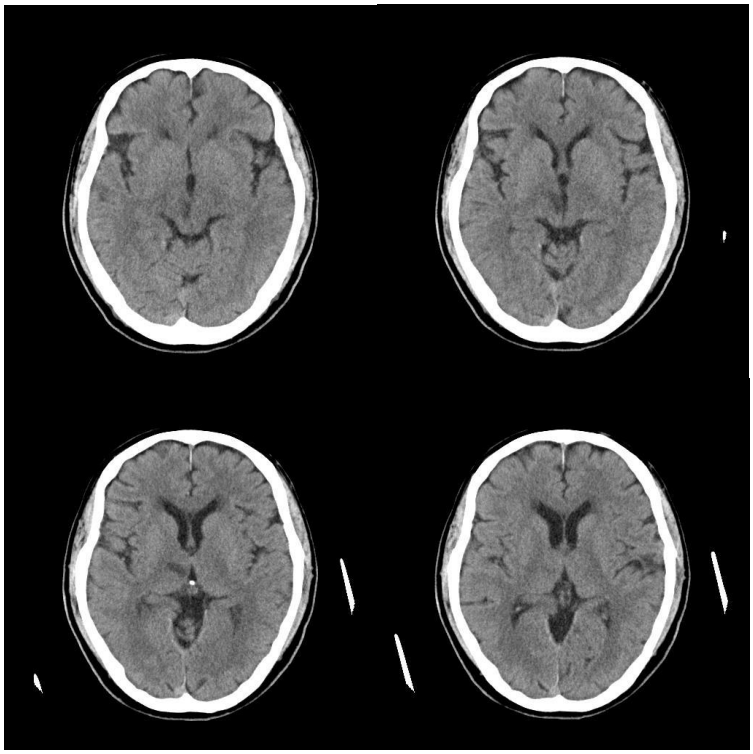

Figure 1. 発症 4 日後の頭部 CT 画像

CT 画像（Figure 1）にて、右視床背内側核（Dorsal Medial nucleus ; DM 核）、右視床外腹側核（Ventral Lateral nucleus ; VL 核）に低吸収域あり。

3.3　衝動的行動の所見と行動評価（functional independence measure: FIM）

歩行時にふらつきがあるため移動時は看護師立会いが必要であるとの約束であるにも関わらず一人で行動してしまう、初めて通る道であるにも関わらず思慮なく歩き進める、人と話している時に場にそぐわずあくびをしてしまい手で口を覆う動作が遅れるなどが観察された。それぞれの衝動的行動は頻回に観察された。衝動的行動に対して指摘するとその場では理解している様子であるが、場面が切り替わると修正は困難であった。

FIM はセルフケア（食事 5、整容 5、清拭 5、更衣・上半身 5、更衣下半身 5）、排便コントロール（トイレ動作 5、排尿管理 7、排便管理 7）、移乗（ベッド・椅子車椅子 5、トイレ 5、浴槽シャワー椅子 5）、移動（歩行 5、階段 4）、コミュニケーション（理解 6、表出 7）、社会的認知（社会的交流 7、問題解決 4、記憶 4）、合計点（運動項目 68/91、認知項目 28/35）であった。

3.4　神経心理学的評価

Table 1 に、症例に実施した神経心理学的検査の結果を示す。

Table 1. 神経心理学的検査結果

高次脳機能検査		
Mini mental state examination（MMSE）		28/30
Trail making test（TMT）	Part A	49.21 秒、エラーなし
	Part B	98.09 秒、エラーなし
三宅式記銘力検査	有関係 1,2,3 回正答数	9,9,10
	無関係 1,2,3 回正答数	0,3,4
Ray-osterrieth 複雑図形	模写	36/36
	直後再生	18/36
Wechsler adult intelligence scale third edition（WAIS□）	言語性 IQ	129
	動作性 IQ	131
	全検査 IQ	132
	言語理解	109
	知覚統合	135
	作動記憶	>151
	処理速度	133
Behavioural assessment of the dysexecutive syndrome（BADS）	総プロフィール	21/24
	年齢補正した標準化得点	119
Wisconsin card sorting test（WCST）	Categories achived（CA）	3
	perseverative errors of Nelson（PEN）	7
衝動性検査		
改訂日本語版 BIS－11	衝動性得点	2.7
SST	平均 Reaction Time	550.1 ミリ秒
	SSD	220 ミリ秒
	SSRT	341.7 ミリ秒
DDT	衝動性指数 k 値	0.004
MFFT	正答数	9/14
	総反応時間	942.2 秒

Trail making test（TMT）、Wechsler adult intelligence scale third edition（WAISⅢ）の結果はいずれにおいても健常者レベルであった。Ray 複雑図形において描画する手順は四角や連続直線などある一定の図形のまとまりを持った手順で描画できていた。Behavioural Assessment of the Dysexecutive Syndrome（BADS）では、行為計画検査（検査2）で底のない筒状の容器に底蓋をつけて水をすくう必要があるが、開始直後から底のない筒のまま水をすくう動作が 7 回みられた。開始から 30 秒後底蓋の存在に気付き自力で取り付けた。Wisconsin card sorting test（WCST）では直前の誤反応と同じ反応を繰り返す誤り（PEN）が複数回みられた。WCST はコンピュータが要求する属性（色、形、数のいずれか）に合わせて分類する課題である。正確な分類のために自身が分類した結果を受け、誤りならば要求に合うように他の属性に合わせて分類することが求められる。症例は分類結果が誤りである事をコンピュータの音声で聞いたにも関わらず誤りと返された属性の分類を繰り返すエラーがみられた。

3.5　行動観察・病態のまとめ

高次脳機能検査の結果から注意・記憶・視空間認知などの高次脳機能は高水準に保持されていた。しかし、BADS

の行為計画検査では底蓋のない状態で何度も水をすくったり、WCST では誤りと返された属性の分類を繰り返すなど特徴的なエラーがみられた。WCST や BADS などの課題を遂行するにあたり、教示の理解や行動の計画をするための作動記憶や遂行機能が必要である。エラー行動の繰り返しや行動の修正の遅延、思慮なき歩行行動は、環境の情報を取り込み適切な行動に反映するまでに時間がかかるという点では共通している。注意障害や遂行機能障害によってもこのような病態の出現が予想される。しかし、WAISⅢの下位項目である積木模様や RAY 複雑図形で効率的に行動をコントロールしている様子を見ると目的に必要な刺激の選別や適切な行動展開に必要な一定の注意機能・実行機能を有していると考えられる。積木模様や RAY 複雑図形ではエラーなく遂行したにも関わらず BADS や WCST では行動エラーが見られた。BADS や WCST は課題の性質上行動に対する結果のフィードバックを受動的に受け取り次の行動に反映する必要がある（BADS では水をすくったつもりでもすくえてない視覚情報や筒を持っている手に重量の変化がないことから原因を探る、WCST では「間違いです」のアナウンスを聞いて別の属性に分類する）。一方で積木模様や RAY 複雑図形は行動した結果がそのまま刺激の変化となるため目的に向かった行動の調整がしやすい。症例は行動した結果を取り込み行動に反映する過程で何らかの問題を含んでいると推測した。SST の SSRT 延長 [14]がみられたのは音刺激という環境情報を迅速に取り込む事に失敗し「押さない」という行動選択が遅延した事の結果であると考えられる。

4. 衝動的行動発現機序の考察～大脳皮質—基底核ループの観点から

4.1 多重並列構造を持つ大脳皮質—基底核ループ

運動や認知活動には大脳皮質—基底核ループが関わっていることが知られている [22]。大脳皮質—基底核ループは、まず線条体が大脳皮質の殆ど全ての領野からの入力を受け、大脳基底核の様々な核で処理された後、処理された情報が出力核である淡蒼球内節ないし黒質網様部から視床に送られ、大脳皮質に再び返される。脳は、この回路を通して皮質各領域の促通や抑制がなされることであらゆる行動選択に関与している [22]多重並列構造を持つ（Figure2）。異なるループは様々な機能的役割を持ち、運動実行・運動計画・刺激反応・認知操作・社会認知など多岐にわたる [23]。運動ループは行動の選択、運動の準備、運動の実行、運動の順序の決定、自発的な運動、記憶に基づく運動、運動パラメータの制御、強化学習など、運動行動の広範な局面に関わっていると考えられている [24]。前頭前野ループは複雑な問題に対して行動反応を構成したり、問題解決において言語機能を用いたりする実行機能に関与したり、共感的な行動や社会的に適切な行動に大きな役割を果たしていると考えられている [24]。辺縁系ループは動機づけ行動に重要な役割を果たしている [24]。基底核の状態が変化することで、最終的な投射先の皮質の状態が変化し、行動を修飾することが予想される。症例は視床背内側核損傷により、大脳皮質—基底核ループの中の前頭前野ループまたは辺縁系ループが不全に陥り、衝動的行動が発現している可能性が高い。症例の衝動的行動の機序を脳内ネットワークの観点から考察する。

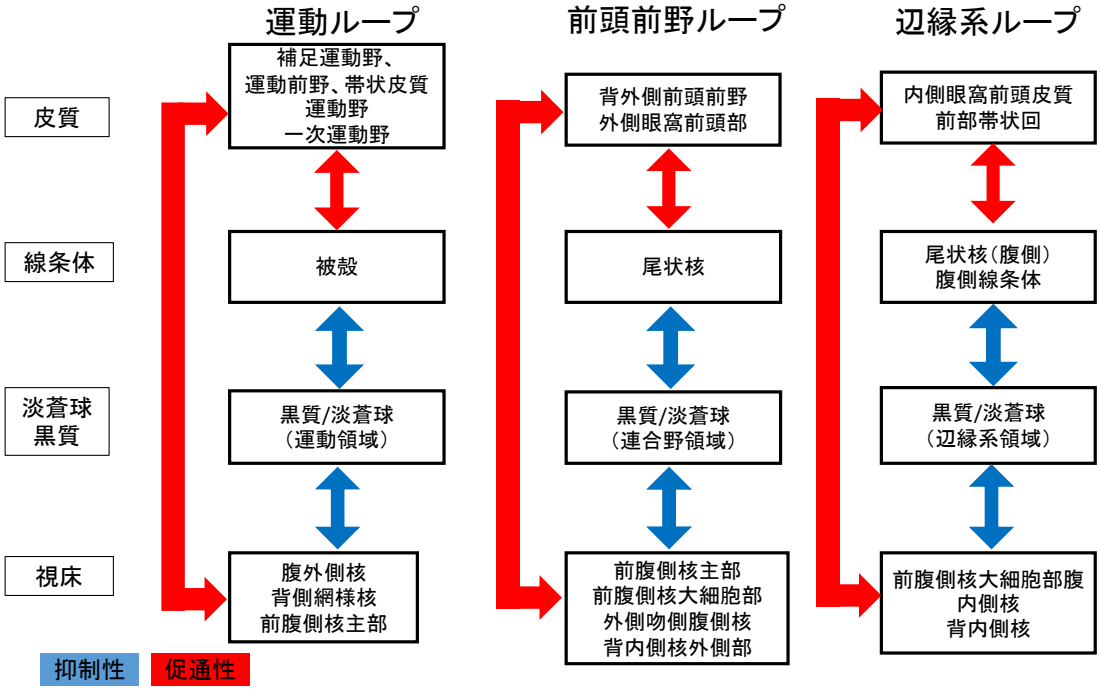

Figure 2.　大脳皮質―基底核ループ（Wichmann ら [22]の図を引用改変）

4.2　症例の衝動的行動の脳機能解剖学的考察

Figure 3 に症例の衝動性機序仮説を示す。症例は各種高次脳機能検査の結果から課題の理解や実施に十分な高次脳機能を有していることがわかった。一方で日常生活や BADS や WCST では状況に合わせた行動選択が適切でない場面がみられた。また、SST を実施した結果、SSRT 延長がみられた事から環境情報を取り込み行動反映するときに遅延が生じている事が考えられる。症例は右視床背内側核が損傷されている。視床背内側核は前頭前野ループと関わりが深い。前頭前野ループは視床背内側核から背外側前頭前野または外側眼窩前頭皮質へ投射している。背外側前頭前野は実行機能に重要であることが知られている [25]。症例は視床背内側核の損傷により前頭前野ループの一部が損傷し、背外側前頭前野あるいは眼窩前頭皮質の活動が低下している状態である事が可能性としてあげられる。佐藤 [26]の研究でも右視床損傷者に対して Single photon emission computed tomography（SPECT）を行ったところ右視床と右前頭葉の機能が低下していたことが示されており、本症例でも視床損傷による前頭葉の活性化が不十分な状態であることが推測される。

WCST では要求される属性に正しく反応し続けると予告なしに要求される属性が変更されるため、セットの柔軟な変換能力が求められる。セットの変換とは、情報を更新し既存の行動パターンを変更する能力を指すが、セットの変換をする際は下前頭回の賦活が関与している [27]。セットの変換障害には保続や作動記憶の障害が関与している [28]。症例の検査でみられたエラーも直前の行動エラーを繰り返すものが多かったため保続とも捉えられる。しかし、WCST は課題が進むにつれエラーの回数が減少し、要求する属性を選択できている事から、背外側前頭前野由来のセットの変換障害とは異なる病態を示している。背外側前頭前野の機能低下によるものであれば、WCST での保続行動は一貫して現れ、TMT や WAISⅢで選択エラーや反応の遅延がみられるはずである。また、症例は BADS の動物園課題のような複雑な教示で十分な計画が求められる課題でもエラーがみられなかったことから症例の遂行機能は保たれていると考えられる。このことから視床背内側核から背外側前頭前野へ投射している線維は損傷しておらず機能していることが考えられる。一方で、Figure 2 の前頭前野ループに関与する皮質は背外側前頭前野の他に眼窩前頭皮質がある。Nicolas らの研究によると視床背内側核の小細胞が背外側前頭前野に投射するのに対し、眼窩前頭皮質は大細胞から投射を受けていることが示されている [29]。眼窩前頭皮質は社会的行動の調整や情動報酬に関わる意思決定に関わっており、眼窩前頭皮質の直接的な損傷は行動的脱抑制や遂行機能障害を引き起こすことがある [28]。症例は視床背内側核損傷により眼窩前頭皮質の不活性が起こっているため行動に関わるエラーが部分的に現れている可能性がある。このような障害が現れる背景に眼窩前頭皮質が state representation を担っていることがあげられる。State representation とは、課題遂行に関係のある環境情報を認識し組み合わせて、

行動による環境の変化など感覚入力情報では得られない状態を推測し把握することをさす。state representation は効果的な意思決定を促進する機能を担っている [29]。つまり正しい意思決定・行動を起こす前に、課題の環境を正確に認識するだけでなく感覚入力から認識した情報だけでは得られない推測を state representation 内に配置することが求められる。例えば、行動計画検査では、水が入ったビーカー、細いシリンダーにコルクが入っている事、筒や底蓋の道具などを認識する。それらを組み合わせてコルクを取り出すためには、筒に底蓋を取り付けそれで水をすくわなければならない。症例の場合底蓋を取り付けずに水をすくう動作が何度もみられた。眼窩前頭皮質が機能していれば、例え底蓋が取り付けられていない事に気付かなかったとしても、過去の経験から水をすくったときに重量の変化がないことに違和感を覚え、すぐに手に持っている容器の形状などの再評価を行うはずである。つまり課題開始直後は state representation 内に底蓋がないことにより水が容器内に留められない事が配置されなかったと考えられる。最終的に行動修正できたのは、注いだつもりであったがシリンダーに水が溜まっていない事を認識したことで state representation 内に底蓋を取り付ければ水がすくえる事が配置されたため行動に反映し修正できたと推測する。WCST では、提示された図形を正確に認識し、教示を保持しておくことも情報として重要であるが、自身の前回の行動を state representation 内に配置していなければ、次の行動選択を要求された属性に合わせることが難しくなる事が予想される。症例は誤りのフィードバックを受けたにも関わらず同じ属性を選び続けたのは前回の結果が state representation 内に反映されていないために誤りの属性を次に選ぶ属性の選択肢から外せなかったためであると推測する。SST を実施する場合であれば、提示された図形を正確に認識し弁別課題を遂行することに加えて、課題中突然音がなるかもしれないという事をステート内に表現しながら弁別課題に取り組むことが困難であったため、実際の音がなった時に咄嗟に行動修正ができなかったものと考えられる。

まとめると、症例は衝動的行動として思慮なき歩行行動や検査場面での行動エラーがみられた。損傷部位と検査結果から環境情報を取り入れ行動に反映するプロセスでの遅れが原因と考えられた。脳画像所見では視床背内側核の損傷がみられ、損傷部位から前頭前野ループの不全があると考えられた。前頭前野ループは背外側前頭前野または眼窩前頭皮質と連絡しているが皮質を活性化させる視床背内側核の損傷の影響によりこれらの機能が低下している可能性があった。高次脳検査結果から課題の理解・実施に必要な高次脳機能は保たれていたことから作動記憶や実行機能の局在と言われる背外側前頭前野の機能低下はしてないと考えられる。一方眼窩前頭皮質では state representation を担っており行動の意思決定に関わっている。観察されたエラー行動の修正の遅れから、state representation 内に配置された感覚情報を組み合わせて、これから起こりうる状態の変化を推測することが困難であることが示唆された。つまり物事の挙動や変化を正確に配置できていない state representation をもとに行動決定をしたため思慮のない衝動的行動が現れたと結論づけた。

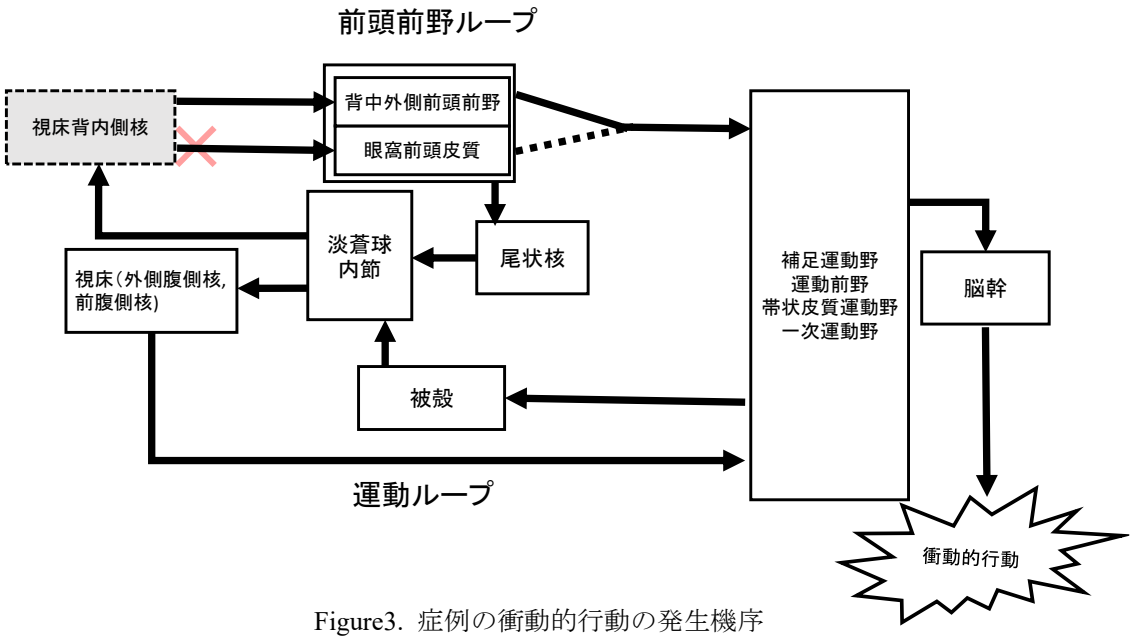

Figure3．症例の衝動的行動の発生機序

症例の前頭前野ループ・運動ループの状態。視床背内側核の損傷により前頭前野ループのうち特に眼窩前頭皮質の活性化が不十分であるために state representation が不正確になり（破線矢印）不正確な情報をもとに意思決定することで衝動的行動が出現する。

4.3　衝動的発現機序に基づくリハビリテーション

日常生活での衝動的行動による不利益を被るリスクを減らすために、衝動的行動の発現機序に関わる機能改善や、自身の衝動的行動への気づきを促し、行動をコントロールするリハビリテーションの提供が必要と考えられる。症例は眼窩前頭皮質内でのステート表現を正しく行えるようにアプローチする必要がある。ステート表現の適正化を促す訓練として、例えば並べられたバラバラの図形を見るだけで何が完成するか予想する課題などがある。意識し過ぎず素早い判断を求めることで背外側前頭前野での代償戦略を抑え眼窩前頭皮質での情報処理に負荷をかけることができると考えられる。また、残存している背外側前頭前野との連絡経路を活かしたアプローチとして危険が起こりそうな場面の写真を見せ、これからどんな危険が起こるか予測してもらう課題なども有効かもしれない。

文　　献

1) Amy JC: Further evidence of the heterogeneous nature of impulsivity. Personality and Individual 76: 68-74, 2015.
2) Eysenck SBG: Development of a measure of impulsivity and its relationship to thesuperfactors of personality. American Psychiatric Association: 1993.
3) Dickman SJ: Functional and dysfunctional impulsivity: personality and cognitive correlates. J Pers Soc Psychol 58: 95-102, 1990.
4) Evenden JL: Varieties of impulsivity. Psychopharmacology146: 348-361, 1999.
5) Bakhshani NM: Impulsivity: A Predisposition Toward Risky Behaviors. Int J High Risk Behav Addict 3: 1-3, 2014.
6) Bari A, Robbins TW: Inhibition and impulsivity Behavioral and neural basis of response control. Progress in Neurobiology1278: 1-36, 2013.
7) Bari A: Impulsiveness and Inhibitory Mechanisms: 113-136, 2016.
8) Boehler CN, Appelbaum LG, Krebs RM, et al: The influence of different Stop-signal response time estimation. Behavioural Brain Research 229: 123-130, 2012.
9) Bezdjian S, Tuvblad C, Wang P, et al: Motor Impulsivity During Childhood and Adolescence: A Longitudinal Biometric Analysis of the Go/No-Go Task in 9- to 18-Year-Old Twins. Dev Psychol 50: 2549–2557, 2014.
10) Van DLLN, Barendse MEA, Viergever MA, Smeets PAM: Subtypes of trait impulsivity differentially correlate with neural responses to food choices. Behavioural Brain Research 296: 442–450, 2016.
11) Kogan J: REFLECTION-IMPULSIVITY:THE GENERALITY AND DYNAMICS OF CONCEPTUAL TEMPO. Journal of Abnormal Psychology 71-1: 17-24, 1966.
12) Seiki K, Nakajima K, Uchida I, et al: Common inhibitory mechanism in human inferior prefrontal cortex revealed by event-related functional MRI. Brain 122: 981-991, 1999.
13) 酒井 雄希：セロトニン神経系の障害を伴う精神疾患における意思決定神経基盤.日本生物学的精神医学会誌 24：101-105. 2013.
14) Adam AR, Fletcher PC, Bullmore ET, et al: Stop-signal inhibition disrupted by damage to right inferior frontal gyrus in humans. nature neuroscience 6: 115-116, 2003.
15) 福武 敏夫：左視床背内側核梗塞と“sociopathy”ー非言語的コミュニケーションの観点でー.高次脳機能研究 33：22-28, 2013.
16) 伊林 克彦, 鶴岡はつ：一過性の失語症と精神機能低下を来たした両側性視床梗塞の 1 例.失語症研究 3：38-44, 1983.
17) 小橋 眞理子, 井田政則：改訂日本語版 BIS-11 の作成-信頼性と妥当性の検討．立正大学心理学研究年報 4：53-61, 2013.
18) Verbruggen F, Logan GD, Stevens MA: STOP-IT: Windows executable software for the stop-signal paradigm. Behavior Research Methods 40: 479-483, 2008.
19) Kirby KN, Petry NM, Bickel WK: Heroin addicts have higher discount rates for delayed rewards than non-drug-using controls. Journal of Experimental Psychology 128: 78-87, 1999.
20) Davidson WB: Personality Correlates of the Matching Familiar Figures Test in Adults. Journal of Personality Assessment 48: 478-482, 1984.

21) 荘厳 依子：同画探索（MFF）テストを用いた幼児の衝動性-熟慮性の測定．Human Developmental Research19：139-150, 2005.
22) Wichmann T, Delong MR: Deep Brain Stimulation for Neurologic and Neuropsychiatric Disorders. Neuron: 197-204, 2006.
23) 花川 隆：行動制御における大脳基底核-皮質系の役割：脳機能イメージングからの知見．ロボティクス・メカトロニクス講演会 2008：1-4, 2008.
24) 金澤 一郎：大脳基底核.カンデル神経科学. Eric R. K (編)：963-978, 2014.
25) Clayton EC, Mark E: Persistent activity in the prefrontal cortex during working memory. TRENDS in Cognitive Sciences 7:415-423, 2003.
26) 佐藤 正之：前頭葉の機能解剖と神経心理検査：脳賦活化実験の結果から．高次脳研究 32：227-236, 2012.
27) Seiki K, Kyoichi.N, Idai.U et al:Transient activation of inferior prefrontal cortex during cognitive set shifting. Nature Neuroscience 1:80-84,1998.
28) 大槻 美佳：標準言語聴覚障害学 高次脳機能障害学. 藤田 郁代, 関 啓子（編）：128-140, 2009.
29) Nicolas WS, Robert W, Yael N: A STATE REPRESENTATION FOR REINFORCEMENT LEARNING AND DECISION-MAKING IN THE ORBITOFRONTAL CORTEX. bioRxiv preprint first posted online:2017.

著者連絡先：池上浩平　〒639-0218 奈良県北葛城郡上牧町ささゆり台 3 丁目 2 番地 2 号
西大和リハビリテーション病院
usso875@gmail.com

©池上浩平、石倉隆

大阪保健医療大学紀要 (2019 年 3 月 31 日発刊)
Bulletin of Osaka Health Science University
Vol.2 pp.18-26 ISSN: 2434-71400

学術論文

水平面画像を用いた投球動作における“膝割れ”の定量的評価

森下 聖 (医療法人社団 武部整形外科リハビリテーション リハビリテーション部)
境 隆弘 (大阪保健医療大学大学院 保健医療学研究科)

Quantitative evaluation of“knee out” during throwing motion on horizontal imaging

Satoshi MORISHITA (Medical Corporation Takebe Orthopedic and Rehabilitation Clinics),
Takahiro SAKAI (Graduate School of Osaka Health Science University)

（2018 年 11 月 30 日受付，2019 年 3 月 22 日受理）

要 旨

考案したデジタルビデオカメラ画像（2 次元（以下 2D）画像）による“膝割れ”の評価方法の計測精度を検証し、3 次元（以下 3D）動作解析結果と比較することで妥当性を検討した。20 名の健常野球経験者の投球動作をデジタルカメラと 3D 動作解析装置で記録し、動作解析ソフト（ToMoCo-Lite、Vicon Nexus）を用いてそれぞれを分析した。foot plant （以下 FP)、maximum external rotation （以下 MER)、および ball release （以下 BR）の大腿骨軸と足部中央軸のなす角を算出し、ピアソンの相関係数を用いて分析した。また、本法の検者内・検者間信頼性（ICC）を分析した。2D の 3D 動作解析に対する大腿骨軸と足部中央軸のなす角の計測誤差は FP で 1.6±1.8°、MER で 1.8±1.3°、BR で 1.6±1.5°であった。検者内・検者間信頼性はそれぞれ 0.93 以上であった。2D における大腿骨軸と足部中央軸のなす角と 3D で算出した各関節角度との相関はなかった。

Summary

We analyzed the measurement precision of a new method for evaluating “knee out” (lateral shift of the knee in front leg during throwing) using a digital video camera (two-dimensional [2D] imaging). We compared the 2D images with those obtained using a three-dimensional (3D) motion capture system to verify the validity of the method. The throwing motions of 20 injury-free baseball players were recorded using a digital video camera and a 3D system. The ToMoCo-Lite and Vicon Nexus software packages were used for 2D and 3D motion analysis, respectively. Angles between the femoral axis and the central axis of the foot in the horizontal plane were calculated at foot plant (FP), maximum external rotation (MER), and ball release (BR) and analyzed using Pearson’s correlation coefficient. Inter- and intra-class correlation coefficients were assessed to determine the 2D method’s reliability. The measurement error for the angle between the femoral axis and the central axis of the foot compared with the corresponding 3D reference angle was 1.6±1.8° at FP, 1.8±1.3° at MER, and 1.6±1.5° at BR. Inter- and intra-class correlation coefficients were both >0.93 at each phase. There was no correlation between the angle formed by the femoral axis and the central axis of the foot in 2D and each joint angle calculated in 3D.

キーワード：投球動作 膝割れ 水平面画像 2 次元 定量的評価

Keywords：throwing motion, knee out, horizontal imaging, two-dimensional, quantitative evaluation

1. はじめに

投球動作における運動連鎖は多数の身体部位から 1 つの機能的部位に伝え、総合的に活動性のある筋によって発揮された最大限の力を手に伝えることである[1]。全身の運動連鎖が破綻すると上肢に依存する投球動作となり、投球障害を誘発する。投球障害を誘発する運動連鎖の破綻の一つにステップ脚の“膝割れ”がある[2]。“膝割れ”とは中路ら[3]によると、ball release （以下 BR）時にステップ側の膝が投球方向ではなく外側に向くことであるとされる。投球時に“膝割れ”があると、骨盤が早期に回旋するため身体の開きが早まり、体幹部の運動エネルギーを回旋運動に変化することが困難となるため、上肢に依存した運動となり、肩の痛みを誘発する[4,5]。“膝割れ”の原因として、ステップ脚の内向き接地、腰が沈んだ水平回転、ステップ脚の股関節内旋制限があり[6]、投球パフォーマンスの低下や投球障害を有している選手に対して“膝割れ”が評価される[7,8]。“膝割れ”が起こると非投球側への体幹傾斜が大きくなるため、投球方向に向かう運動伝達が非効率になる[9]。ステップ脚が支持を開始する foot plant（以下 FP）時点の非投球側へ骨盤回旋は、プロ投手と高校生との比較では、高校生の方が骨盤の開きが早い傾向にあり、“膝割れ”はこの骨盤回旋運動範囲の代償と捉え、その影響は体幹、上肢に依存した投球動作になるとされる[10]。よって、“膝割れ”が確認されれば改善が必要であり、フォーム指導前後の目視による“膝割れ”の有無の報告はある[11]が、エビデンスの高い効果判定のためには定量的評価が必要である。

スポーツ動作の評価では、3 次元（以下 3D）動作解析装置による投球動作分析の精度が高いと報告されている[12]が、これには、計測環境が限定されるという問題点がある。我々は、頭上に設置したデジタルビデオカメラと身体指標を用いて撮影した水平面 2 次元（以下 2D）画像により“膝割れ”の定量的評価を試みているが、その信頼性と妥当性は不明である。小池ら[13]はビデオカメラの前額面から下腿内・外側傾斜角度を足関節中央と膝蓋骨中央を結び、水平線とのなす角で算出したと報告しているが、ステップ脚がインステップやアウトステップするフォームでは、カメラとステップ脚が相対していないため、前額面からの評価が困難となる。そこで、内外側方向に偏位した足部と大腿を同時に評価するには頭上からの水平面画像が必要と考えた。そこで、本研究の目的はデジタルカメラと生体指標を用いた水平面の 2D 画像による評価方法を考案することであり、その妥当性を 3D 動作解析の結果と比較し、更にその信頼性を級内相関係数で検討することで“膝割れ”の定量的評価としての有用性を検証することとした。

2. 方法

2.1 水平面画像における“膝割れ”の計測方法

対象は上肢帯に障害のない野球経験者 20 例（年齢 22.3±2.0 歳、身長 172.4±6.2cm、体重 67.9±8.3kg、野球歴 15.6±3.5 年、全例右投げ）とした。対象者にはヘルシンキ宣言に則り、本研究の趣旨と内容を書面および口頭で説明した。説明後に書面で同意を得られた者のみを対象として研究を開始した。本研究の内容は大阪保健医療大学研究倫理委員会の審査を受け承認された（承認番号：大保大研倫 1305）。

運動課題は 10m 前方に設置したネットへの投球動作とした。投球前に十分な準備運動を行わせた。ボールは軟式球とした。5 球分の投球動作を撮影し、最もマーカーが正確に追従できた試行を採用した。

2D 動作解析の運動計測には、デジタルカメラ（CASIO 社製 EX―F1）を使用し、ハイスピードモード（19 万画素）で撮影した。レンズの焦点距離は最も画角が広がる 36mm に設定し、マーカーが画角中心にくるようにカメラを設置した。カメラは、床から 2m の高さより水平面画像を撮影した。同時に 3D 動作解析装置（OMG 社製 VICON MX）でも投球動作を撮影した（Figure 1）。2D 動作解析と 3D 動作解析のサンプリング周波数を 300Hz に統一し、動作を同期するため、アナログ信号を出力できる LED 発光装置を使用した。

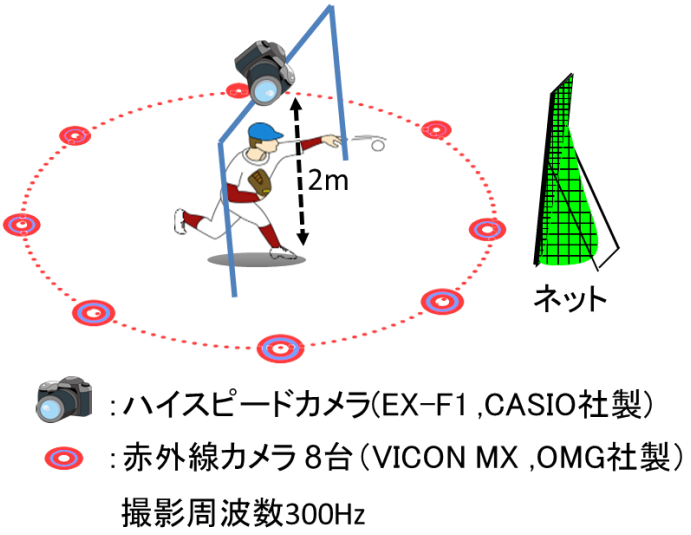

Figure 1. 計測環境

2D 動作解析の水平面の身体指標として、ステップ脚を膝関節屈曲 60° にした肢位 [14]で大腿部には上前腸骨棘と膝蓋骨上縁を結ぶ線の中点、膝蓋骨上縁、足部には第 3 中足骨底と第 3 中足骨頭に反射マーカーを貼付した（Figure 2）。

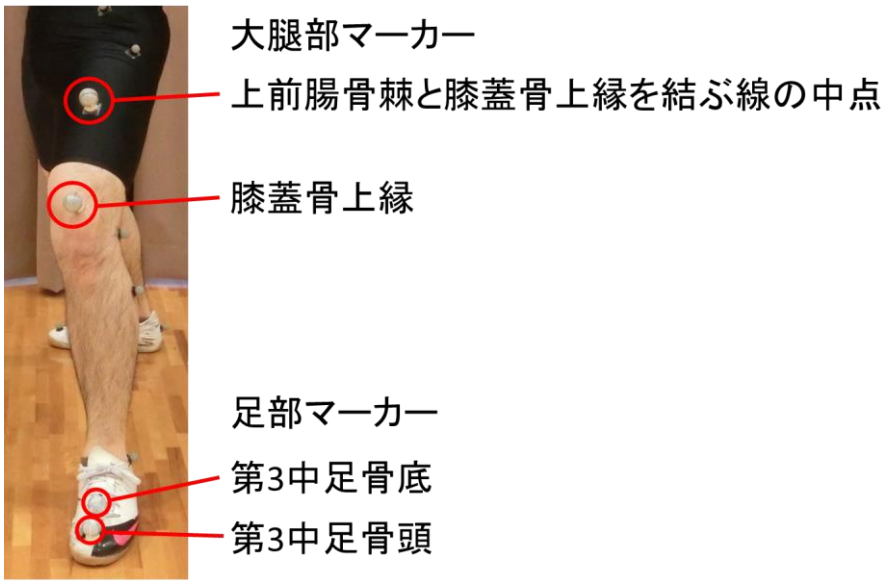

Figure 2.“膝割れ”定量評価のための身体指標

それに加えて、3D 動作解析の身体指標は plug-in-gait（Oxford Metrics Ltd.）モデルに準じて反射マーカーは左右前頭部、左右後頭部、胸骨柄、剣状突起、C7、Th10、右肩甲骨、両側の肩鎖関節、上腕骨外側上顆、橈骨茎状突起、尺骨茎状突起、第 2 中手骨頭、上前腸骨棘、上後腸骨棘、大腿部、大腿骨外側上顆、下腿部、外果、踵骨、第 2 中足骨頭の計 35 点に赤外線マーカーを貼付した（Figure 3）。

Figure 3. plug-in-gait マーカーセット

2.2　解析方法

動作解析ソフトウェアは 2D 動作解析のデジタル画像から手動で座標をプロットして抽出し、角度や距離を 5mm の精度で計測できる ToMoCo-Lite（東総システム社製）と、3D 動作解析には反射マーカーより得られた座標データより 1mm の計測精度で解析する VICON NEXUS ver1.8（OMG 社製）を用いた。

分析位相について、“膝割れ”とは BR 時にステップ側の膝が投球方向ではなく外側に向くことである [3]という報告を参考に BR 時とした。 それに加えて、高橋 [15]はステップ脚の役割として、ステップ脚に移動してきた重心を支えると報告しており、“膝割れ”はステップ脚の支持性の破綻と考え、ステップ脚の開始である FP 時と、島田ら [16]の述べた投球動作中の床反力について、ステップ脚の垂直分力は maximum external rotation（以下 MER）にて一番高値であったという報告を参考に MER 時とした。分析位相の定義は動作確認用に設置したデジタルカメラで撮影した矢状面画像において、ステップ脚の足底全体が床面に設置した時期を FP、体幹に対して上腕骨が最も外旋した時期を MER、ボールが手指から離れた時期を BR とした。

各分析位相の 3D 動作解析の分析データは plug-in-gait モデルに準じて算出された股関節、膝関節、足関節の各関節角度を採用した。また、2D 動作解析と 3D 動作解析の分析データは上前腸骨棘と膝蓋骨上縁を結ぶ線の中点と膝蓋骨上縁を結んだ線を大腿骨軸とし、第 3 中足骨底と第 3 中足骨頭を結ぶ線を足部中央軸とした。そして、大腿骨軸と足部中央軸となす角度を算出し定量評価した（Figure 4）。

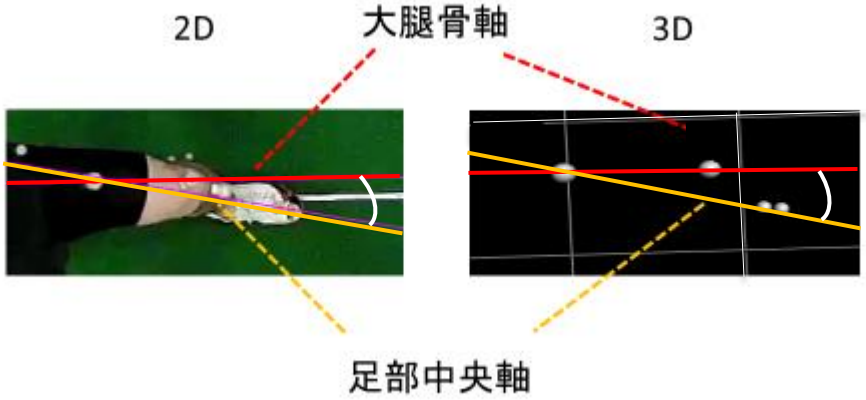

Figure 4. 2D と 3D の分析データ
大腿骨軸と足部中央軸のなす角度を算出

各分析位相における大腿骨軸と足部中央軸のなす角の 2D 動作解析の 3D 動作解析に対する計測誤差を算出した。また、級内相関係数（ICC）を用い、2D 動作解析の角度の検者内信頼性 ICC（1,1）は一人の検者が 3 回計測し、検者間信頼性 ICC（2,1）は 3 人の検者が測定し検証した。各分析位相での 3D 動作解析で算出したステップ脚の股関節、膝関節、足関節の各関節角度と 2D 動作解析より算出された大腿骨軸と足部中央軸のなす角度との関係を、それぞれピアソン相関係数（r）を用いて、危険率 5%未満で検討した。

3. 結果

3.1 大腿骨軸と足部中央軸のなす角の 2D 動作解析の 3D 動作解析に対する計測誤差

大腿骨軸と足部中央軸のなす角の 2D 動作解析の 3D 動作解析に対する計測誤差は FP で 1.6±1.8°、MER で 1.8±1.3°、BR で 1.6±1.5°で平均 3°未満であった（Table 1.）。

Table 1. 大腿骨軸と足部中央軸のなす角の 2D 動作解析の 3D 動作解析に対する計測誤差

	FP	MER	BR
計測誤差（°）	1.6±1.8	1.8±1.3	1.6±1.5

3.2 2D 動作解析における検者内および検者間信頼性

2D 動作解析での大腿骨軸と足部中央軸のなす角度の検者内信頼性（ICC1,1）は FP で 0.99、MER で 0.98、BR で 0.99 であり、信頼性判定 [17]は優秀であった。また、検者間の信頼性（ICC2,1）は FP で 0.93、MER で 0.97、BR で 0.96 であり、信頼性判定 [17]は優秀であった（Table 2）。

Table 2. 2D 動作解析での大腿骨軸と足部中央軸のなす角度の検者内および検者間信頼性

	FP	MER	BR
ICC（1,1）	0.99	0.98	0.99
ICC（2,1）	0.93	0.97	0.96

3.3　2D 動作解析で計測した大腿骨軸と足部中央軸のなす角と 3D 動作解析で算出した各関節角度との相関

各分析位相での 3D 動作解析で算出したステップ脚の股関節、膝関節、足関節の各関節角度と 2D 動作解析より算出された大腿骨軸と足部中央軸のなす角度との間には有意な相関が認められなかった。（Table 3,4,5）

Table 3. FP における 2D 動作解析で計測した大腿骨軸と足部中央軸のなす角と
3D 動作解析で算出した各関節角度との相関

関節	角度	r	p 値
股	屈曲・伸展	0.05	0.80
	外転・内転	0.02	0.92
	外旋・内旋	0.17	0.47
膝	屈曲・伸展	-0.14	0.53
	外反・内反	-0.10	0.66
	外旋・内旋	0.22	0.34
足	背屈・底屈	-0.35	0.12
	回内・回外	-0.09	0.68
	外転・内転	-0.08	0.73

Table 4. MER における 2D 動作解析で計測した大腿骨軸と足部中央軸のなす角と
3D 動作解析で算出した各関節角度との相関

関節	角度	r	p 値
股	屈曲・伸展	0.01	0.97
	外転・内転	0.06	0.78
	外旋・内旋	0.01	0.96
膝	屈曲・伸展	-0.04	0.85
	外反・内反	-0.10	0.66
	外旋・内旋	0.12	0.59
足	背屈・底屈	-0.12	0.60
	回内・回外	0.08	0.73
	外転・内転	-0.08	0.72

Table 5. BR における 2D 動作解析で計測した大腿骨軸と足部中央軸のなす角と
3D 動作解析で算出した各関節角度との相関

関節	角度	r	p 値
股	屈曲・伸展	0.06	0.80
	外転・内転	-0.19	0.40
	外旋・内旋	0.26	0.26
膝	屈曲・伸展	-0.02	0.90
	外反・内反	0.08	0.72
	外旋・内旋	0.03	0.87
足	背屈・底屈	0.12	0.60
	回内・回外	-0.25	0.28
	外転・内転	0.20	0.38

4. 考察

運動計測器の妥当性を 3D 動作解析による評価と比較した先行研究において、Konda ら [18]は電磁ゴニオメーターの精度を検証し、120°以上肩を挙上した場合の誤差は 10°以上と報告した。また Yoshida ら [19]は汎用ゴニオメーターの妥当性を検証し、上肢挙上動作における 135°屈曲位での誤差は 10°以上と報告した。来田ら [20]、今高ら [21]は投球動作における評価指標を考案し、水平面と前額面の 2D 画像にて算出した角度を 3D 画像により算出した角度と比較し、評価指標の有用性を検討した結果、計測誤差は 3°未満で妥当性と信頼性は高かったと報告している。本研究の結果、大腿骨軸と足部中央軸のなす角の 2D 動作解析と 3D 動作解析に対する計測誤差は平均で 3°以下であり、妥当性が高いと考えられた。また、検者内信頼性 ICC（1,1）は FP で 0.99、MER で 0.98、BR で 0.99 と優秀であり、検者間信頼性 ICC（2,1）も FP で 0.93、MER で 0.97、BR で 0.96 と優秀であったことから、各位相における評価方法としての信頼性は高いと考えられた。久保田ら [22]はステップ脚の位置はインステップと正面向きがあり、ステップ脚の足の向きは正面向きと斜め向きがあると報告しており、本研究の計測誤差と検者内・検者間信頼性の結果から、ステップ脚の位置と足の向きに関わらず、水平面画像から角度算出が可能であったと考えられた。一方、2D 動作解析で計測した大腿骨軸と足部中央軸のなす角と 3D 動作解析で算出した各関節角度との有意な相関は認められなかった。その理由として、ステップ脚の足部の方向が要因として考えられた。William ら [23]によると、投球においてステップ脚の足部の向きは重要な役割を果たすと報告している。本研究の投球動作画像からステップ脚の足部の位置を分析すると、ステップ脚の足部の方向が内側や外側に向いている被験者や中間位の被験者が観察された。また、ステップ脚の膝は足部の方向と同じ方向に向いている被験者が観察された。ステップ脚の足部の方向と膝の方向が同じ方向に向いている対象者を水平面画像から角度を算出すると内側・外側や中間位のすべての方向で 0°に近づくため、3D 動作解析で算出した各関節角度との相関が認められなかったと考えられた。

臨床場面にて 2D 画像は簡便に撮影でき、画像上で“膝割れ”は容易に確認することができる。本研究の結果より、2D 評価は信頼性が高く、臨床場面での投球動作の指導効果の即時判定や対象者へのフィードバックに有用性は高いと考える。投手のステップ位置や向きの違いに対応できるマーカー位置を検討することが今後の課題として考えられた。

5. 要約

デジタルカメラと生体指標を用いた水平面の 2D 画像による評価方法を考案し、“膝割れ”の定量的評価としての有用性を検討した。2D 動作解析の大腿骨軸と足部中央軸のなす角の 3D 動作解析に対する計測誤差は平均 3°未満であった。2D 動作解析の角度の検者内・検者間信頼性は優秀であったが、各分析位相での 3D 動作解析にて算出したステップ脚の股関節、膝関節、足関節の各関節角度と 2D 動作解析で算出した大腿骨軸と足部中央軸のなす角度との間には有意な相関は認められなかった。

6. 謝辞

大阪電気通信大学医療福祉工学部小柳磨毅教授には本研究を進めていく過程でご助言、ご指導を賜りました。謹んで感謝の意を表します。

関西メディカルリハ倶楽部来田晃幸先生と行岡病院リハビリテーション部理学療法科今高康詞先生にはデータ解析にご協力頂き、また論文執筆に至るまで多くのご助言とご指導をいただきました。厚く御礼申し上げます。

文　　献

1） Kibler WB, Kuhn JE, Wilk KE, et al.：The Disabled Throwing Shoulder: Spectrum of Pathology-10-Year Update. The Journal of Arthroscopic and Related Surgery 29:141-161, 2013.
2） Miyashita K, Kobayashi H, Yokoe K：The analysis of movement of hip joint in pitching motion . Journal of athletic rehabilitation 1:53-56, 1998.
3） 中路隼人,飯田博巳,岩本賢・他：投球動作と股関節内旋および体幹回旋可動域との関係について～骨盤回旋運動および体幹回旋運動に着目して～. 東海スポーツ障害研究会会誌 28 : 30-33, 2010.
4） 鵜飼建志：投球フォームからみた肩関節インピンジメント症候群 - その評価と治療のコツ - . 臨床スポーツ医学 30 : 479-488, 2013.
5） 村上雅俊,淵本隆文,金子公宥：三次元動作解析による超一流大学野球選手のピッチングに関する事例的研究. 大阪体育大学紀要 33 : 1-8, 2002.
6） 前田健：ピッチングメカニズムブック理論編ピンチングの仕組み.株式会社ベースボール・マガジン社 第 2 版: 67-73, 2010.
7） 松尾知之,平野裕一,川村卓：投球動作に対する熟練野球指導者の経験知の抽出：不良動作のメカニズム.日本体育学会体育方法専門分科会会報 36 :127-130, 2009.
8） 中村絵美,鈴川仁人,坂田淳・他：上腕骨近位骨端線損傷を有する少年野球選手の投球フォームの特徴. 肩の運動機能研究会 11: S63, 2014.
9） 西川仁史,立花孝,信原克哉・他：野球肩の保存療法.運動・物理療法 15:208-217, 2004.
10） 西川仁史,田中洋：投球障害のリハビリテーションとリコンディショニングーリスクマネジメントに基づいたアプローチー山口光圀（編）：投球動作の運動学的特徴,pp120-137,文光堂 第 2 版 2010.
11） 太田憲一郎,細居雅敏,富川正樹・他：投球動作指導の持続性の検討.肩の運動機能研究会 11: S85, 2014.
12） 永野康治：下肢スポーツ外傷のリハビリテーションとリコンディショニング - リスクマネジメントに基づいたアプローチ - 小柳磨毅（編）：発生機序の分析　実験室内での 3 次元動作解析, pp.206-212, 文光堂, 2011.
13） 小池聴,児玉雄二,青木啓成・他：投球動作における非投球側下腿傾斜と障害との関連性一平成 18 年度長野県高校野球メディカルチェック事業からの分析ー.第 43 回日本理学療法学術大会抄録集 35: 327, 2008.
14） 佐竹創平,桜井伸二,湯浅景元・他：野球のピッチング動作時の下肢の動きに関する基礎的研究.中京大学体育研究所紀要 20: 53-63, 2006.
15） 高橋佳三：投動作を助ける脚のはたらき.体育の科学 56: 174-180,2006.
16） 島田一志,阿江通良,藤井範久・他：野球のピッチング動作における体幹および下肢の役割に関するバイオメカニクス的研究.バイオメカニクス研究 14: 47-60, 2000.
17） 桑原洋一,斉藤俊弘,稲垣義明：検者内および検者間の Reliability（再現性、信頼性）の検討.呼と循 41: 945-952, 1993.
18） Konda S, Nakai Y, Sakurai S ：Scapular rotation to attain the peak shoulder external rotation in tennis serve. Medicine and Science in Sports and Exercise 42: 1745-1753, 2010.
19） Yoshida A, Fukushima T, Sunagawa T et al : Development of a Clinical Model for Upper Extremity Motion Analysis. Comparison with Manual Measurement. Journal of Physical Therapy Science 24: 1149-1152, 2012.
20） 来田晃幸,小柳磨毅,今高康詞・他：水平面画像を用いた投球動作における体幹回旋角度の定量的評価.臨床バイオメカニクス 35: 319-323, 2014.

21） 今高康詞, 小柳磨毅,来田晃幸・他：三平面の二次元画像を用いた投球側上肢の定量的評価.臨床バイオメカニクス 35: 315-318, 2014.
22） 久保田正一,江郷功起：投球動作における踏み出し足の位置と向きが上半身に与える影響.肩の運動機能研究会 11: S64, 2014.
23） William E, Donald T: スポーツ科学・医学大辞典　スポーツ運動科学ーバイオメカニクスと生理学ー. pp482-50, 西村書店 , 2010.

著者連絡先：森下　聖　〒660-0062 兵庫県尼崎市浜田町 5 丁目 28　医療法人社団　武部整形外科リハビリテーション

©森下　聖、境　隆弘

大阪保健医療大学紀要 (2019 年 3 月 31 日発刊)
Bulletin of Osaka Health Science University
Vol.2 pp.27-33 ISSN: 2434-7140

学術論文

resting state fMRI による脳機能ネットワークの解析
−CI 療法前後の functional connectivity の変化−

酒井涼 (福井医療短期大学) 石倉隆 (大阪保健医療大学大学院)
山田克範 (福井総合病院) 小林康孝(福井総合病院)

Analysis of brain functional network using resting-state fMRI
−Changes in functional connectivity after CI therapy−

Ryo SAKAI (Fukui College of Health Sciences),
Takashi ISHIKURA (Graduate school of Osaka Health Science University),
Katsunori YAMADA (Fukui General Hospital),
Yasutaka KOBAYASHI (Fukui General Hospital)

（2018 年 11 月 23 日受付，2019 年 3 月 27 日受理）

要旨

70 歳代男性の慢性期脳梗塞患者に対して 2 週間の Constraint-induced movement therapy（CI）を実施し、治療前後の脳機能ネットワークの変化を resting-state functional MRI を用いた Functional connectivity（FC）の解析により調査した。 治療後に上肢機能の改善がみられ、FC は治療後に左右の一次運動野間（M1）において増加し、前頭前野においては減少した。これらの結果は、CI 療法により脳の可塑性が生じ、左右の M1 間の相互作用の異常や前頭前野の代償性活動の正常化を反映したものと考えられる。

Summary

We treated a male patient in his 70s who suffered a chronic cerebral infarction with the constraint-induced movement (CI) therapy for 2 weeks and examined the changes concerning brain function networks before and after the treatment based on the functional connectivity (FC) by means of the resting-state functional magnetic resonance imaging. His upper limb function improved after treatment, while the FC was found to increase between the left and right primary motor cortices (M1), and decrease between the right primary motor cortices (M1) and the prefrontal cortex after treatment. These results indicate that the CI therapy can induce brain plasticity, normalize abnormality of the interaction between the right and left M1, and reduce compensatory hyperactivity of the prefrontal cortex.

キーワード：CI 療法，上肢機能，fMRI，脳梗塞，慢性期
Keywords：CI therapy，Arm function，fMRI，Cerebral infarction，Chronic phase

1. はじめに

近年、functional magnetic resonance imaging（以下、fMRI）などの非侵襲的な機能的脳画像法により、あらゆる活動、場面における脳の活動に関する研究が可能になっている。その中でも脳に損傷を与え、運動麻痺や高次脳機能障害等の様々な症状を呈する脳血管障害に関する研究がリハビリテーション（以下、リハビリ）分野においても盛んに行われている。

脳卒中後の運動機能に関わる脳活動は、発症当初は病変の対側に移行し、その後、病変と同側の活動に進展す

ること[1,2,3]、運動回復期には同側の生存領域が重要[4]であることなどが、課題ベースの fMRI により証明されている。課題ベースとは、安静時と特定の課題、例えば上肢の麻痺に関する研究であれば手指の離握手運動や母指のタッピング運動などを交互に行い、課題時の脳活動から安静時の脳活動を除くことで相対的に活動が増加した部位を同定する手法である。しかし、この手法では、麻痺の程度や共同運動の有無、痙縮の程度など身体状況の影響により課題遂行能力にバラつきが生じたり、麻痺が重度であれば課題自体が行えない可能性もあり、課題に応じた脳活動を計測できないという問題がある。麻痺の程度が改善していくことで、同一課題であっても課題を遂行する速度や質に変化が生じ、整合性が得られにくくなってしまうため、縦断的研究にも不向きであるという側面がある。さらに、fMRI 装置内は狭所であり、ダイナミックな動作を行えないことや、課題による体動が撮像中のブレを生じさせ、正確なデータが採取できなくなってしまう可能性がある。

そこで、課題を行わず脳機能の評価を行える安静時 fMRI（resting-state fMRI：以下、rsfMRI）に着目した。前述した通り、通常行われる課題ベースの fMRI では安静と課題を特定の条件下で反復する手法が主であるが、rsfMRI では課題を用いず、安静状態のみの撮像を行う。課題ベースにおける安静状態の Blood oxgenation level dependent（以下、BOLD）信号は単なる基線であり、課題を行う前のベースラインとして考えられていた。しかし、安静状態でも BOLD 信号は絶えずゆらいでおり、そのゆらぎの低周波成分を分析すると特定の脳領域間で相関関係を示すことが証明されている[5]。この相関関係を機能的結合性（Functional connectivity：以下、FC）と呼び、FC を測定することで大域的脳ネットワークの同定が可能である[6]とされている（Figure 1）。安静時の一側運動野の低周波成分と相関する部分をマップしたところ、指タッピングで同定された運動関連領域ネットワークとほとんど同じ脳部位が同定されたとの報告があり[5]、運動野においても rsfMRI による脳機能評価が可能である。よって、rsfMRI を用いることで、課題ベースでは比較が行いにくい身体機能の異なる症例間での運動機能に関連する脳活動の評価が可能になると考えられる。

脳卒中による運動麻痺に対するアプローチとして、近年では反復経頭蓋磁気刺激療法（repetitive Transcranial Magnetic Stimulation：以下、rTMS）[7]、Constraint Induced Movement Therapy（以下、CI 療法）[8]、随意運動介助型電気刺激療法（Integrated Volitional control Electrical Stimulator：以下、IVES）[9]、ボツリヌス毒素製剤[10]などが有効であるとの報告がされており[11]、脳の可塑性の観点から、慢性期においてもその有効性が証明されている。しかし、慢性期における治療効果のメカニズム解析では、運動関連領域ネットワークの変化に関する報告は少ない。rsfMRI の特性を生かし、脳領域間での FC を評価し、残存した脳領域間に構築されたネットワークの状況、各脳領域間の相関係数で算出される FC の値が上肢機能の回復に及ぼす影響、そして治療効果との因果関係などを調査することは、臨床における予後予測や機能回復メカニズムの理解にも大いに役立ち、今後の治療の一助となると考えられる。

今回の研究の目的は、CI 療法による効果を FC の観点から検証することである。そこで、慢性期脳卒中患者に対し、2 週間の CI 療法を実施し、治療前後の FC を、健常成人 10 名のデータと比較し、その変化を脳機能解剖学的観点から分析した。

倫理的配慮については「ヘルシンキ宣言」及び「人を対象とする医学系研究に関する倫理指針」に則り実施し、新田塚医療福祉センター倫理審査委員会の承認を得て実施している（新倫 27-115 号）。

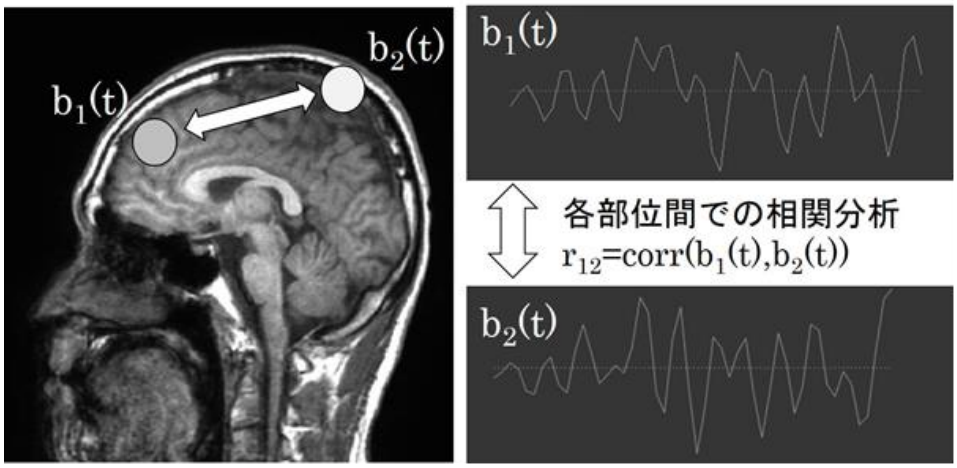

Figure 1. Functional Connectivity のモデル図

FC は特定 2 点間の BOLD 信号の相関分析により算出される。

2. 研究対象・方法

2.1 健常成人群

健常者のデータ採取のため健常成人 10 名を対象に rsfMRI を撮像した。対象者は男性 5 名、女性 5 名（平均年齢 25.2±2.2 歳）、脳血管疾患や外傷等による上肢機能の障害及び既往がなく、右利き者であることを条件とした。利き手の判定は自己申告とした。

2.2 症例情報

症例は 70 歳代の男性で実施した。頭蓋外主幹動脈血栓症脳梗塞を発症し、同日緊急右内頸動脈ステント留置術を施行し、急性期、回復期病棟でのリハビリの後、自宅退院となったが、発症後 7 ヶ月が経過し、左上下肢に軽度の不全麻痺が残存しており、CI 療法目的にて入院となった。運動麻痺は比較的軽度であったが、麻痺手の使用頻度は少ない状態であった。独歩にて日常生活動作（activity of daily living：ADL）は自立していた。入院時の MRI では、右前頭葉に陳旧性梗塞が認められた（Figure 2）。

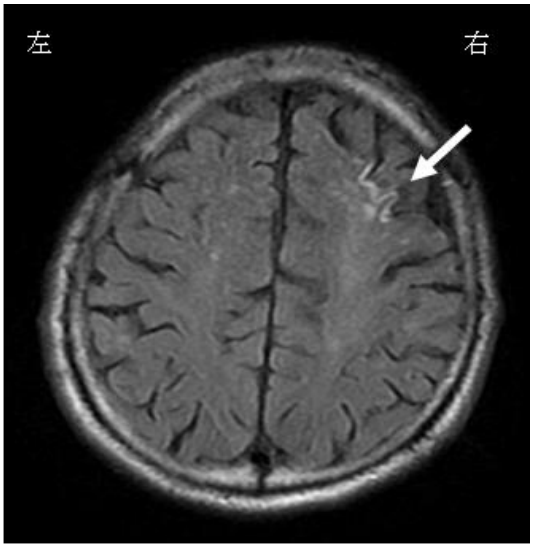

Figure 2. 入院時の MRI 画像（FLAIR 画像）
矢印は梗塞部位を示す。

2.3 上肢機能評価

CI 療法による上肢機能の変化を評価するため、入院日及び CI 療法終了翌日に上肢機能評価を実施した。評価項目は、握力、上田式 12 段階片麻痺機能検査（以下、上田式）、Fugl-Meyer Assessment（以下、FMA）、Modified Ashworth Scale(以下、MAS)、Simple Test for Evaluating hand Function（以下、STEF）、Wolf Motor Function Test（以下、WMFT）、Motor Activity Log（以下、MAL）の 7 項目とした。握力は 3 回測定し最大値を使用した。上田式は上肢と手指の評価を行った。MAS の評価は肘関節と手関節で実施した。WMFT は所要時間（秒数）と動作の質（Functional Ability Scale：FAS）について評価した。MAL では、麻痺側をどの程度用いたか（Amount of Use：以下、AOU）と、麻痺側の動作の質（Quality of Movement：以下、QOM）を主観的に 5 段階で評価した。

2.4 rsfMRI 撮像・解析方法

rsfMRI の撮像は 2 週間の入院の前週、翌週にそれぞれ実施した。撮像は、被験者に動かず一点を見つめているように指示し、瞬きは問題ないと伝え、安静開眼、固視の状態で行った。MR 装置は GE Healthcare 製 1.5T optimaMR360 を

使用した。rsfMRI の測定には標準ヘッドコイルを用い、各セッションで、T2* 強調グラディエントエコー・エコープラナーイメージングシーケンス（繰り返し時間＝3000 ms、エコー時間＝35 ms、スライス数＝35、スライス厚＝4 mm、マトリックスサイズ＝128 × 128、視野＝220 × 220 mm）を用いて合計 100 枚の画像を撮像した。fMRI データの解析は Statistical Parametric Mapping 12（SPM12）、CONN を用いて前処理（Realignment、Normalization、Smoothing）を行い、その後線形トレンド除去によるノイズ除去を施した後、撮像時間 5 分間における損傷側の一次運動野（以下、M1）の経時的推移と脳のすべてのボクセルの経時的推移との相関解析により FC を算出した [12]。今回の研究は運動機能についての検討を目的としているため、基準となる部位（Region of Interest：以下、ROI）は損傷側の M1 とした。健常成人群のデータは上記の処理の後、集団解析を行い、脳マッピング画像は p-uncorrected＜0.01 の部位を抽出した。

2.5　介入方法

上肢機能訓練のため 2 週間の CI 療法を行った。入院初日に治療介入前の上肢機能評価を実施した。治療介入は翌日から 1 時間の個別訓練を午前、午後 1 回ずつ行い、自主訓練を午前 1 時間、午後 2 時間行った。週末の 2 日間は訓練を実施せず、平日の計 10 日間訓練を行い、その翌日に治療介入後の上肢機能評価を実施し、退院とした。CI 療法はアラバマ大学が提唱するプロトコール [13] を入院向けに改良した。個別訓練は反復課題指向型訓練（shaping）を基に机上での課題を設定し、施行毎に課題遂行時間を記録しフィードバックを繰り返しながら行った。自主訓練（Task practice）では患者の難易度に合わせた課題にそれぞれ時間を設定し、課題遂行数を患者自身で記録してもらい、適宜難易度を上げていくように調整した。Transfer package に則り、日常生活上での麻痺手使用を促進させるため、行動契約（Behavioral Contract）などの生活場面での麻痺手使用について症例と相談し、各種の約束事を設定した。また、非麻痺側の抑制にはミトンを使用し、覚醒時間の 90%を目標にミトンの脱着時間を自身で記録用紙に記録してもらった。しかし、巧緻運動障害により努力性の高い動作が多く、装着時間は平均 50%程度に留まった。

3.　結果

3.1　上肢機能評価結果

治療前後における上肢機能評価の結果を Table 1 に示す。握力、STEF、WMFT に改善がみられ、巧緻動作や物品操作などの機能改善がみられた。また、MAL においても AOU、QOM ともに増加を認め、日常生活上での主観的な麻痺手使用頻度、質の向上がみられた。

Table 1. 上肢機能評価

評価項目		治療前	治療後
握力	kg	11.1	11.8
上田式（U/E）	grade	10	10
上田式（Fin）	grade	10	10
Fugl-meyer	score	61	61
MAS（elbow）	point	1	1
MAS（hand）	point	1	1
STEF	score	67	85
WMFT（FAS）	score	62	63
WMFT（TIME）	sec	47	29.2
MAL（AOU）	score	1.18	2.32
MAL（QOM）	score	1.29	2.39

FMA : Fugl-Meyer Assessment、MAS : Modified Ashworth Scale、STEF : Simple Test for Evaluating hand Function、WMFT : Wolf Motor Function Test、MAL：Motor Activity Log、AOU：Amount of Use、QOM：Quality of Movement

3.2　FC

健常成人群及び症例の治療前後における FC の結果を Table 2 に示す。この表から症例の治療前後の M1 と各 ROI 間の数値をモデル化した画像を Figure3 に示す。健常者の FC の結果では、左右の M1 間では FC が 0.81 と高い値を示し、次いで左右の一次感覚野が高い結果であった。その他の領域では、補足運動野、後部帯状回が左右大脳半球共に高い傾向がみられた。症例の治療前の FC は、左右 M1 間では対照群に比べ低下が見られていた。損傷側の中心後回、補足運動野、上前頭回や中前頭回、後部帯状回においては逆に高値を示していた。治療後には、左右 M1 間の FC が上昇し、高値を示していた損傷側の中心後回、補足運動野、上前頭回や中前頭回、後部帯状回ではいずれも低下がみられた。

Table 2. 治療前後における各解剖学部位間の FC

	損傷脳FC（右）			非損傷脳FC（左）		
解剖学部位	健常成人群	治療前	治療後	健常成人群	治療前	治療後
一次運動野	ROI	ROI	ROI	0.81	0.37	0.53
一次体性感覚野	0.71	1.23	0.46	0.53	0.45	0.35
補足運動野	0.39	0.68	0.1	0.35	0.36	0.75
後部帯状回	0.25	0.51	-0.02	0.25	0.51	-0.02
上前頭回	0.09	0.55	0.26	0.13	0.57	0.03
中前頭回	-0.03	1.09	0.12	-0.02	0.17	-0.11

FC：Functional Connectivity、ROI：Region of Interest

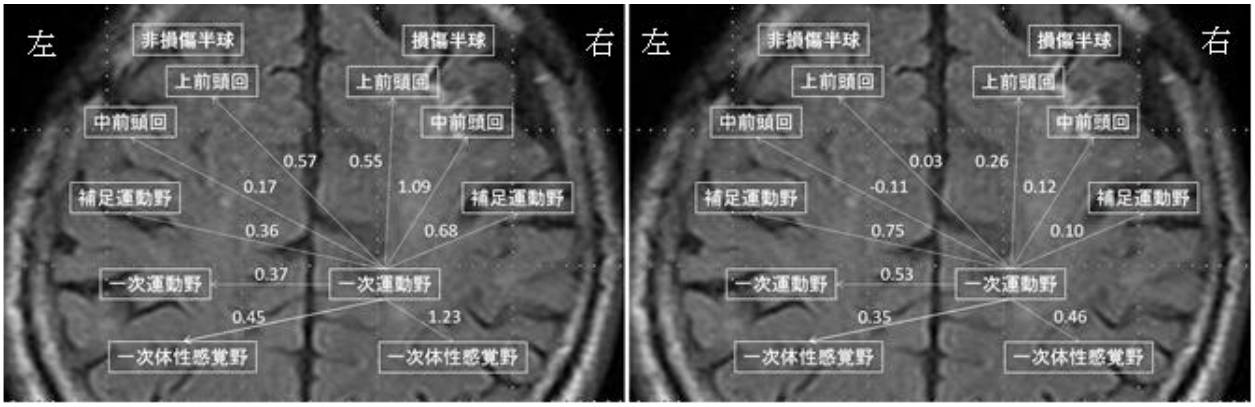

Figure 3. M1 と大脳皮質の各解剖学部位間の FC
M1 を起点とした大脳皮質の各解剖学部位間の FC を示す。左図が治療前、右図が治療後を示す。

4.　考察

4.1　脳機能解剖学的分析

本症例は、前頭前野の上前頭回及び中前頭回の損傷により運動のプログラミング障害が生じているものと考えられる。本症例に対し 2 週間の CI 療法を行った結果、WMFT や STFE、MAL の改善がみられた。CI 療法は非麻痺側上肢にミトンを装着し、非麻痺側上肢の使用を抑制する治療法であり、非麻痺側上肢の抑制により、非損傷半球の活動を抑え、その間に麻痺側上肢の訓練を行うことで損傷半球の大脳皮質の可塑性が生じ、機能が改善するとされている [14]。運動機能と FC に関する先行研究では、脳卒中発症から 6 か月間、M1 領域と相関を示す領域の変化と FMA の改善について調査したところ、発症以降、損傷側の M1 の結合は損傷側の脳領域内で増加し、非損傷側の脳領域内で減少したと報告している [15]。また、運動機能の回復と左右 M1 間の FC の上昇が相関することが報告されており、左右 M1 間の FC が運動機能障害を推し測るひとつの指標となることが示唆されている [16]。

rTMS や CI 療法などの慢性期治療では大脳半球間抑制の正常化や損傷側大脳の可塑性誘導を促すことを目的とした介入を行っており、治療方法の観点からも損傷側の M1 との結合は損傷側の脳領域内で増加し、非損傷側の脳領域内で減少しやすいと考えられる。本症例は入院時の麻痺手の使用頻度が非常に少ない状態であり、学習性不使用が進行しているものと考えられた。本症例の FC は治療後に左右 M1 間で上昇がみられており、上述したように CI 療法により脳の可塑性が生じ、M1 間の相互作用の異常が正常化されたのではないかと考えられる。また、上前頭回、中前頭回などの病巣周囲の領域で治療前に高い FC が観察されたが、治療後にはこれらの領域の FC が健常成人群に近い値へと低下した。CI 療法では課題指向型訓練を実施しており、机上での巧緻動作課題の反復により運動の認知、修正、学習が生じたことで、Area46 などの前頭前野の過活動が正常化されたのではないかと考えられる。さらに課題志向型訓練による運動の認知、修正、学習は、記憶や体性感覚に基づく運動の順序制御を円滑にするとされる [17]。順序制御には、補足運動野への中心後回からの体性感覚入力や後部帯状回から上・中前頭回を経て補足運動野に至る記憶の入力が重要である [18]。治療前には機能低下した M1 を活動させるために記憶や体性感覚などを総動員して運動の順序制御を行っていたが、M1 間の相互作用の異常が正常化したことで順序制御された運動が容易になり、関係する損傷側の中心後回、補足運動野、後部帯状回の過活動も減少し、これらの FC も低下したのではないかと考えられる。これらの脳機能解剖学的分析に加え、Hamzei ら [19]は、損傷部位が M1 を含む領域かどうかで CI 療法後の MRI 信号に違いが生じることを報告しており、回復メカニズムが損傷部位によって異なる可能性を示している。以上のことから、本症例の運動障害の中心は M1 損傷による運動麻痺ではなく、左右の運動野の相互作用の異常による M1 機能低下に起因する運動のプログラミング障害が巧緻動作の障害を及ぼしているものと考えられ、今回の FC の変化から、治療効果の背景には、左右 M1 間の相互作用の異常が正常化されたことに加え、前頭前野とそれに関連する脳ネットワークの活動変化があるものと結論付けた。この結果は、CI 療法が運動プログラミング障害を来している症例に対しても有用であることを示しており、CI 療法が脳卒中のみならず、片側性に症状が出現している神経変性疾患などにも適用できる可能性を含んでいる。

通常の MRI 画像が静的情報であるのに対し、rsfMRI は近似の経験なども反映した動的な情報であり、課題や治療などの介入前後の経時的変化に感受性が高いとされており [20]、今回のように症例の治療効果のメカニズム解析に有用であると考えられる。現在の脳卒中上肢麻痺に対する治療は、エビデンスの高い治療方法を中心に選択されているが、病型や治療方法、治療前の FC のパターンによって脳神経活動がどのように変化するかを明確にすることで、rTMS や CI 療法の適応の判断など、症例に適した治療選択の補助手段として rsfMRI を用いることが可能になるのではないかと考えられる。

4.2　研究の限界点と今後の課題

本研究は、前後比較試験によるシングルケーススタディであり、fMRI の特性を考慮すると本来は多標本実験を行うべきである。しかし、脳卒中の症例においては、わずかな損傷の差異で出現する症状、残存する障害に大きな違いが生じる。そのため、集団解析を行うにあたってはその母集団の障害特性に十分注意して行う必要がある。今後はこれらの要因を踏まえた上で、多標本実験へと進めていきたいと考えている。また、解析技術についても課題が多く残されている。今回の研究では、再現性ができうる限り高いものになるように、BOLD 信号への感受性の強い T2* 強調グラディエントエコー・エコープラナーイメージングシーケンスで撮像し、先行研究の基準をもとに 5 分間の撮像時間を設けた [20]。しかし、現在の解析技術では呼吸や生理学的な雑音が含まれてしまい、結果に影響を及ぼしている可能性に留意しなければならない。また、被検者の都合により本研究の対照群には健常成人を設定しているが、年齢を考慮し脳萎縮などの影響についても併せて検討していく必要がある。生理学的ノイズの除去や損傷領域、脳の萎縮など形態的、構造的問題にも対応できるよう、今後さらなる解析技術の発展に期待したい。

文　　献

1）　Kim YH，You SH，Kwon YH, et al.：Longitudinal fMRI study for locomotor recovery in patients

with stroke. Neurology 67: 330-333, 2006.
2） Tombari D, Loubinoux I, Pariente J, et al.：A longitudinal fMRI study in recovering and then in clinically stable sub-cortical stroke patients. Neuroimage 23: 827-839, 2004.
3） Pum U, Vovk A, Sevesk F, et al.: Increased cognitive load during simple and complex motor tasks in acute stage after stroke. Int J Psychophyscol 63: 173-180, 2007.
4） Ward NS: Functional recoganization of the cerebral motor system after stroke. Curr Opin Neurol 17: 725-730, 2004.
5） Biswal B, Yetkin FZ, Haughton VM, Hyde JS: Functional connectivity in the motor cortex of resting human brain using echo-planar MRI. Magn Reson Med 34: 537-541, 1995.
6） Friston KJ: Functional and effective connectivity in neuroimaging. Hum Brain Map 2: 56-87, 1994.
7） 角田亘, 安保雅博, 清水正人ら: 脳卒中後上肢麻痺に対する低頻度反復性経頭蓋磁気刺激と集中的作業療法の併用療法-1,000 人超の患者に対する治療経験. 脳卒中 35: 274-280, 2013.
8） Wolf SL, Winstein CJ, Miller JP, et al.: Effect of constraint-induced movement therapy on upper extremity function 3 to 9 months after stroke: the EXCITE randomized clinical trial. JAMA 296: 2095–2104, 2006.
9） 原行弘: 新しい機能的電気刺激によるニューロリハビリテーション. BRAIN and NERVE 62(2): 1-12, 2010.
１０） Slawek J, Bogucki A, Reclawowicz D: Botulinum toxin type A for upper limb spasticity following stroke an open-label study with individualised, flexible injection regimens. Neurol Sci, 26: 32-39, 2005.
１１） 日本脳卒中学会脳卒中ガイドライン委員会: 脳卒中治療ガイドライン 2015. 小川 彰, 出江紳一, 片山泰朗・他（編）, 協和企画, 2015.
１２） Susan W,Alfonso N: A Functional Connectivity Toolbox for Correlated and Anticorrelated Brain Networks. Brain connectivity, volume2, number3,: 125-141, 2012.
１３） UAB Training for CI Therapy. The University of Alabama at Birmingham Reserch group.
１４） Edward T, Gitendra U,Thomas E: New treatments in neurorehabiliation founded on basic research. Nature Reviews Neuroscience volume 3: 228–236, 2002.
１５） Chang-hyun Park, Won Hyuk Chang, Suk Hoon Ohn, et al.: Longitudinal Changes of Resting-State Functional Connectivity During Motor Recovery.Stroke 42: 1357-1362, 2011.
１６） Y Zang, H Liu, L Wang et al.: Relationship between functional connectivity and motor function assessment in stroke patients with hemiplegia. a resting-state functional MRI study. Neuroradiology 58: 503-511, 2016.
１７） Tanji J, Shima K: Role for supplementary motor area cells in planning several movements ahead. Nature 371: 413-416,1994.
１８） Petrides M, Pandya DN: Association pathways of the prefrontal cortex and functional observation. Stuss DK, Kinght RT (eds.): Principles of Frontal Lobe Function. Oxford University Press, New York, pp1-31, 2002.
１９） Hamzei F, Liepert J, Dettmers C, et al.: Two different reorganization patterns after rehabilitative therapy：an exploratory study with fMRI and TMS. NeuroImage 31：710-720, 2006.
２０） 林 俊宏: 安静時機能的磁気共鳴画像法による脳ネットワークの解明. BRAIN and NERVE 63(12): 1307-1328, 2011.

著者連絡先：酒井涼　〒910-3190 福井市江上町 55-13-1 福井医療短期大学
email: ryo.fukui0628@gmail.com

©酒井涼、石倉隆、山田克範、小林康孝

大阪保健医療大学　紀要（第 2 号）
2019 年 3 月 31 日発行

発行者　学校法人福田学園　大阪保健医療大学
〒530-0043　大阪市北区天満 1 丁目 9 番 27 号
TEL　06-6352-0093　FAX　06-6352-5995
URL　https://www.ohsu.ac.jp/

編　集　大阪保健医療大学　学術研究委員会
委員長　境　隆弘（教授　保健医療学研究科・保健医療学部）
委　員　松井理直（教授　保健医療学研究科・保健医療学部）
委　員　藤岡重和（教授　保健医療学研究科・保健医療学部）
委　員　藪中良彦（教授　保健医療学研究科・保健医療学部）
委　員　吉田　文（教授　保健医療学部）
委　員　井口知也（講師　保健医療学研究科・保健医療学部）
事務局　中野尚美（学園企画室・学園事務局）