

事例報告

陳旧性の片麻痺患者への介入により
準動歩行が獲得できた事例
—自己組織化理論に基づくアプローチ

小口和弘¹⁾，上條明生²⁾，舟波真一³⁾，山岸茂則⁴⁾

¹⁾Dr. SONA 岡谷

²⁾長野県看護大学 基礎医学・疾病学分野

³⁾BiNI リハビリセンター東京銀座

⁴⁾Dr. SONA 高田

長野県看護大学紀要

第24巻別刷

2022年3月

陳旧性の片麻痺患者への介入により準動歩行が獲得できた事例 —自己組織化理論に基づくアプローチ—

小口和弘¹⁾, 上條明生²⁾, 舟波真一³⁾, 山岸茂則⁴⁾

【要 旨】 陳旧性の脳卒中後遺症において機能回復は困難であるとされている。特に脳卒中患者の歩行は安定した単脚支持を実現するために重心線が単脚支持側の足部の支持基底面内に完全に入るゆっくりとした歩行であることが多い。一方で健常者は単脚支持期に重心線が足部の支持基底面の中に入らない歩行であるが、脳卒中患者がこうした歩行を再獲得するためには何らかの慣性力を歩行の中で無意識的に生み出す能力を再獲得する必要がある。

ヒトが自然と行う動作は1つ1つの動作を意識して行うのではなく無意識的に行われることが多い。今回、発症後約1年が経過しT字杖と金属支柱付き装具を使用しゆっくりとした歩行(0.58m/sec)の50歳代の男性に対し、週3回、7ヶ月間動作を意識させずに繰り返し運動を行うことで装具をGait solutionに変更でき、杖なし歩行も自立し歩行速度(0.63m/sec)・安定性も向上したことを報告する。慢性期の脳卒中片麻痺であっても介入によって改善できる可能性が示唆される。

【キーワード】 片麻痺, 陳旧性脳梗塞, 機能回復, 自己組織化理論, 慣性力

はじめに

陳旧性の脳卒中後遺症において、その機能回復は困難であることが報告されている(宮井, 2017)。特に脳卒中患者の歩行において片方の下肢を振り出す際、安定した単脚支持を実現するために重心線が単脚支持側の足部の支持基底面内に完全に入る静歩行であることが多い。一方で健常者の歩行は下肢を振り出す際の単脚支持期に重心線が足部の支持基底面の中に入らない歩行(動歩行)である(重枝, 2012)が、厳密には両脚支持期に一度支持基底面内に重心線が入るため、人の歩行は準動歩行である。準動歩行を実現する

ためには、支持基底面内から身体重心が外れた状態で姿勢を保持できるよう慣性力が必要となる。さらにロボットによる実験から、準動歩行を獲得することで床面の弾性という環境の不確定変動にも対応できることが報告されており(松浦, 2004)、転倒予防の観点からも準動歩行を獲得することは有用であることが推察される。この準動歩行を脳卒中患者が再獲得するためには単に歩行練習を繰り返すのではなく、何らかの慣性力を歩行の中で無意識的に生み出す能力を再獲得する必要があると考えられる。

前述のロボットにおいては準動歩行の実現のため多賀が運動生成の原理として提唱するGlobal Entrainment

¹⁾ Dr. SONA 岡谷

²⁾ 長野県看護大学 基礎医学・疾病学分野

³⁾ BiNIRIハビリセンター東京銀座

⁴⁾ Dr. SONA 高田

2021年9月21日受付

2022年2月17日受理

が用いられている（多賀，2002）。これは単に大脳皮質からの指令により身体が動くのではなく、脳神経系・身体・環境がそれぞれ複雑かつ自律的に引き込み合い同期し、これらの相互作用から環境の変動に合った安定かつ柔軟な運動が自己組織的に生成されることを指している（以下、自己組織化理論）（図1）。多く

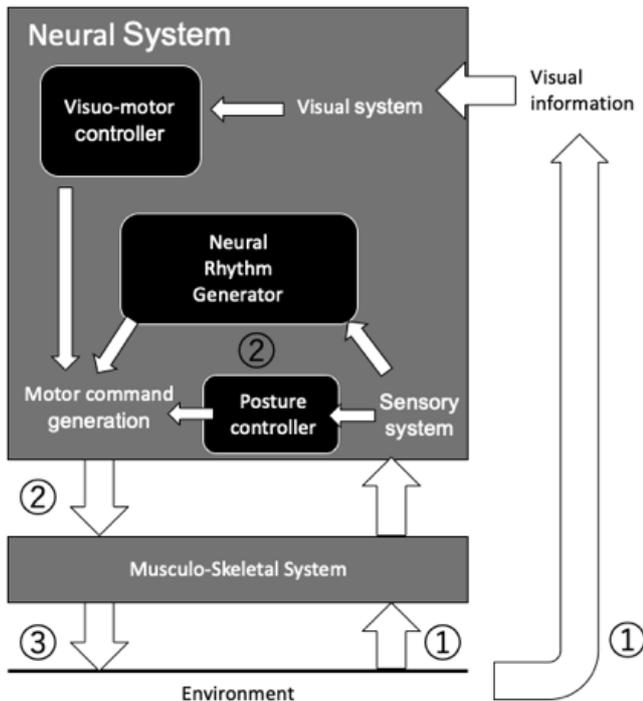


図1 人の運動の神経筋骨格系モデル

①環境から筋骨格系および視覚へ入力された情報は、②姿勢をコントロールするとともに神経リズム生成器および姿勢運動調整器を介して運動指令を発生させ、③筋骨格系を介して環境上にヒトの運動として表出される（Taga et al, 1998 より引用し一部改変）。

の変数が無秩序に陥らず、自律的に統合され、全体として秩序をもつ自己組織化は環境への対応力が高いとされ、この能力を最大限に引き出すことで歩行を含め環境の変化を伴う日常の動作能力の向上に寄与できることが考えられる。

今回、発症後約1年が経過し静歩行かつ麻痺側廃用手の症例に対し、こうした自己組織化理論を取り入れてアプローチすることで身体機能・能力の改善を自覚的・他覚的に認めたので報告する。

倫理的配慮

本研究を実施するにあたり、本人、ご家族には研究の目的と方法、研究結果の発表に関して十分な説明を

行い、研究への参加の意思を確認し書面にて同意を得ている。

症例紹介

50歳代男性、大動脈解離の術後に右中大脳動脈領域の出血性脳梗塞を発症し左片麻痺を呈した。発症早期から急性期病院でのリハビリテーションを約2ヶ月、その後回復期病院へ転院し約6ヶ月、退院後も訪問リハビリテーションと通所リハビリテーションを約3ヶ月利用し、合計で約1年リハビリテーションを行ってきたが退院後の身体機能の改善を実感されずに経過していた。その後、ARIハビリセンターへ来所し自己組織化理論に基づいた介入を開始した。

1. Brunnstrom recovery stage (以下、Br-stage)

初回評価時、上肢・手指・下肢はわずかに随意運動が可能で、Br-stageにて上肢Ⅱ・手指Ⅰ～Ⅱ・下肢Ⅱであり、麻痺側上肢は廃用手であった。

2. 筋緊張

筋緊張は上肢が動作時に高くなりやすく、手指を中心に痙縮が生じていた。下肢は下腿三頭筋の痙縮がやみられ、歩行時は装具無しでは足部内反位となりやすく転倒リスクが高い状態であった。体幹腹部は動作を通して低活動であり、背部筋によって姿勢を固定していた。

3. 動作

基本動作は全て自立していたが、非麻痺側による過剰努力が目立った。歩行はT字杖と金属支柱付き短下肢装具を使用して自立していたが、視線は足元に落ち、杖、非麻痺側下肢、麻痺側下肢の順に歩く3動作歩行でリズムも悪く、重心線が単脚支持基底面内に常にあるいわゆる静歩行が観察された。装具無し歩行では転倒の危険がありT字杖と共に軽介助が必要であった。10m歩行は装具あり、T字杖を用いて17.3秒（0.58m/sec）、歩行率は0.72歩/secだった。Timed Up and Go Test (以下,TUG) は19.3秒を要した。

アプローチ

上肢機能の改善と歩行能力の向上の2つを目的に、週3回、1回につき3種類のアプローチを合計60分、7ヶ月間行った。アプローチ1：上肢に対して両側性かつ

交互性にリズムよくバタバタと叩くように、腹臥位や座位で他動的に動かした。動かす大きさは関節可動域内においてストレッチにならない範囲で行った。時間は約15分、回数としては2,000回以上行った。この時、筋への過度なストレッチが生じないように実施した（図2a）。アプローチ2：下肢に対して、腹臥位の患者の下肢をセラピストが足背側から把持しバタ足のように交互性にリズムよく他動的に動かした（図2b）。これも約15分、回数では2,000回程度行った。アプローチ3：立位では目隠しで視覚情報を遮断し、麻痺側に膝伸展を保持する軟性装具を装着した状態でセラピストが前方から密着し振り子のように左右へと身体を揺らした（図2c）。これをセラピストが症例と運動を同期させながら約30分間行った。途中で左右への運動が大きくなり、片足が浮いてくる反応が見られたら前後左右のステップや、その場で回転する動作なども行いリズムカルな運動が止まらないよう留意した。全てのアプローチを通して症例に運動を意図させることはしなかった。

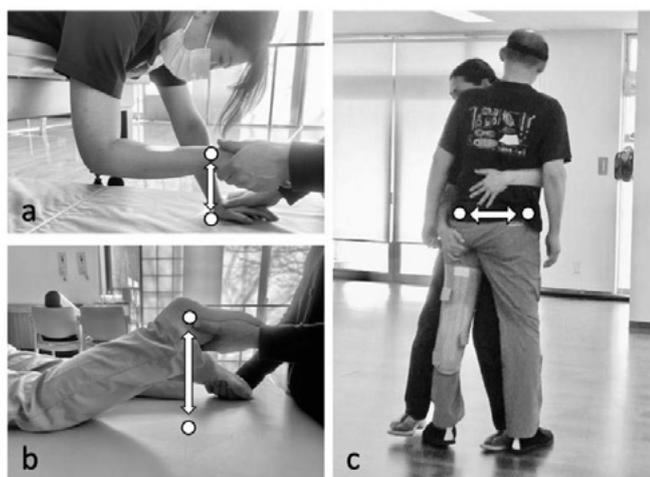


図2. アプローチのイメージ

- a. 上肢に対するアプローチ 腹臥位の患者の上肢を両側性かつ交互性にリズムよくバタバタと上下に約20cmの幅で、1分間に約300回、他動的に動かした。
- b. 下肢に対するアプローチ 腹臥位の患者の下肢をセラピストが足背側から把持しバタ足のように上下に約20cmの幅で、1分間に約250回、交互性にリズムよく他動的に動かした。
- c. 立位でのアプローチ 視覚情報を遮断し、麻痺側に膝伸展を保持する軟性装具を装着した状態でセラピストが前方から密着し振り子のように約2Hzの振幅で左右へと身体を揺らした。

結果

1. Br-stage

7ヶ月間の介入後、上肢Ⅲ、手指Ⅲ、下肢Ⅲ～Ⅳに改善した。上肢は初回評価時に廃用手だったが、更衣時に上着のファスナーを押さえることが可能となった。また、包装を剥がす際に母指と示指によってつまむといったことも可能となり日常生活動作（activity of daily living：以下、ADL）において補助手としての機能が得られた。下肢は歩行時の立脚時間延長、歩幅の増大が得られた。

2. 筋緊張

痙縮は上下肢・手指において減少し、非麻痺側の過剰努力が是正された。動作時の体幹腹部の筋活動が得られ、相反的に背部筋群の過剰活動は軽減された。

3. 動作

歩行は金属支柱付き短下肢装具からGait Solutionへ変更し屋外のみ使用、屋内であれば装具なしでも歩行が自立した。また、単脚支持期に重心線が支持基底面内に位置しない動歩行へと近づいた。歩行スピードも改善し、10m歩行が17.3秒（0.58m/sec）から15.8秒（0.63m/sec）となった。歩行率は0.72歩/secから1.52歩/secに変化し、左右の交互性リズム、スピードが改善した（図3）。TUGは19.4秒から17.3秒に改善した。



図3. 立位姿勢および装具なしでの歩行の変化

初回介入時（a・b）装具を外すと介助なしでは歩行困難で、T字杖を使用し視線は床面との角度が約60度になるほど下を向いていた。a（右立脚中期）重心が足底内に位置する静歩行を呈していた。b（左立脚中期）T字杖がなければ運動が保持できなかった。

7ヶ月経過後（c・d）装具なしで屋内の歩行が自立した。T字杖を使用せず視線も床面と平行に近いくらい前を向いて歩行が行えるようになった。c（右立脚中期）重心が足底内に位置しない動歩行となった。d（左立脚中期）T字杖を用いずとも運動が保持できるようになった。

考察

本症例において、自己組織化理論に基づくアプローチを実施し上肢機能および姿勢・歩行能力の改善、歩行速度の向上がみられた。自己組織化理論では様々な外力という感覚が身体に散在する種々の感覚受容器で電気信号に置き代わり、中枢神経系に入力されることで自己組織的に出力された運動が成り立つと考えられている（舟波ら，2014）。

通常ヒトの姿勢は体性感覚，視覚，前庭感覚の3種類の感覚の統合により成り立つ（板谷，2015）が，多くの脳卒中患者において体性感覚は低下しており，またリズムカルな歩行が行えないため前庭感覚の入力も低下し視覚を優位とした姿勢制御となっていることが多い。今回，立位にて視覚遮断を行なった上で左右に「揺れる」という運動を行った。これにより前庭感覚・体性感覚が取り込まれやすくなり，さらにセラピスト側が他動的に運動を起こすことで患者側に運動を意図・意識させず自己組織的に運動が生成されることを期待した。結果として歩行能力に改善が見られたが，これには前庭器（迷路）への視覚・体性感覚・前庭感覚の入力によって活動し下肢伸筋群の発火からバランス能力の補償などを担う前庭システム（Leonard, 2007）の関与が考えられる。また，歩行の際には下肢をどこに振り出すかを一歩ごとに意識する必要がなく半自動的に行われるが，これは脊髄に存在するcentral pattern generator(以下CPG)の関与が考えられている（Dietz 2002, Ryu et al., 2021）。このCPGは神経振動子（シナプスを介して接続している神経細胞同士が互いに干渉し合う1組のユニット（舟波，2014））（図4）同士の引き込み現象によるものと考えられ（Jilge et al., 2004），神経振動子にインパルスが入力されると，そのリズムは引き込み現象によって協調・同期する。ネコや魚のCPGはこの神経振動子からなる神経回路網で実現できることが明らかとなっており（Grillner et al., 1982）ヒトにおいても第5胸髄完全損傷者を対象に損傷部位より下位にあたる髄節に対して脊髄硬膜外刺激を行い，得られた周期的な活動からCPGの存在が確認されている（Dimitrijevic et al., 1998）。本症例においては，意図・意識させずに

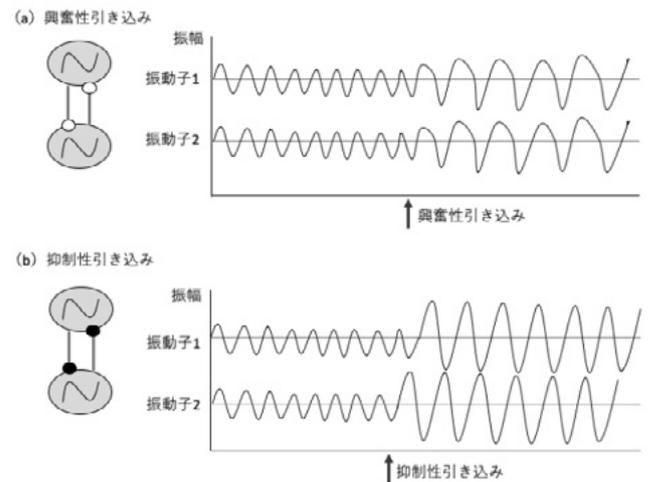


図4. 神経振動子モデルの模式図

シナプスを介して接続している神経細胞同士が互いに干渉し合う1組のユニットが神経振動子である。このユニットを構成するニューロン数は様々であると考えられている。2つの神経振動子が織りなす電気信号のリズムは引き込みあり，周期的なリズムを自律的に形成する。これを引き込み現象という。a 外部からの刺激により強制的に電気信号のリズムが興奮性に高まる例。b 干渉しあう神経振動子がお互いの活動により抑制性し合う例。（舟波，2014より引用し一部改変）

左右へ身体を揺らし足踏みを繰り返す刺激の入力によりCPGの働きが賦活化されリズムカルな歩行の再獲得へ繋がったことが考えられる。

前庭刺激（慣性力）は本来姿勢制御に関わる刺激であるが上肢運動ニューロンを興奮させる頸部介在ニューロンを促進させることが報告されている（Suzuki et al., 2017）。また，足背の触覚刺激が上腕三頭筋・三角筋後部と反射結合を示すことから（Bent et al., 2013），腹臥位にて足部を把持し揺らしたことが前庭器への慣性力提供，上肢筋活動の向上に繋がり上肢機能の改善に影響したことが考えられる。さらに，霊長類の脊髄において上肢と下肢の活動の相互作用が発見されており（Yaguchi et al., 2015），上肢のリズムカルな運動により握力や歩行能力の向上が報告されている（Kaupp et al., 2018）。脳卒中により脳機能の低下が生じてても，前庭器や足部への感覚情報，または直接的に上肢の運動感覚情報を提供することが脊髄のシナジー再構築を促し，上肢筋活動の改善が得られる可能性を示唆しており，慢性期の脳卒中患者であってもこうしたアプローチにより身体機能の改善が望めることが示唆された。

一方、今回の報告に際して歩行速度以外には定量的な評価がされていない。今後は慣性力や床反力の客観的評価として加速度センサーの利用や、筋緊張の定量的評価が可能（武田，2018）とされるModified Ashworth Scale等も指標としていきたい。また、過去には筋緊張の評価指標として筋電図を用いた報告（Mariele et al.,2017）もあることから、本研究で実施したアプローチによりみられた変化をこれらの手法を用いて定量的に明らかにしていくことでより信頼性のある結果を提示できるものとする。

結論

陳旧性の片麻痺者に対して、自己組織化理論を根幹としたアプローチを実施した。その結果、発症から1年以上経過しているにも関わらず、Br-stageや歩行能力、ADLの改善を認めた。積極的に慣性力等の外力を入力することで、慢性期と言われる期間であっても身体機能の改善が望める可能性があり、こうした知見を共有することで医師、看護師を含めたチームとしてのアプローチに繋げていきたい。

利益相反

今回の症例報告について開示すべき利益相反関係にある企業・団体・組織はない。

謝辞

本報告にあたり、ご協力を快諾いただきましたご本人とご家族、ご支援くださった全ての方に感謝申し上げます。

文献

Bent LR, Lowrey CR (2013). Single low-threshold afferents innervating the skin of the human foot modulate ongoing muscle activity in the upper limbs. *JOURNAL of Neurophysiology*, 109(6), 1614-1625.

Dietz V (2002). Do human bipeds use quadrupedal coordination? *Trends Neurosci.* 25(9), 462-7.

Dimitrijevic MR, Gerasimenko Y, Pinter MM (1998). Evidence for a spinal central pattern generator

in humans. *Ann N Y Acad Sci.* 860, 360-376.

舟波真一 (2014). 第16章BiNI Approach, 舟波真一ら, 運動の成り立ちとは何か理学療法・作業療法のためのBiNI Approach, 文光堂, 168, 182-185.

Grillner S, Wallen P (1982). On peripheral control mechanisms acting on the central pattern generators for swimming in the dogfish. *Journal of Experimental Biology*, 98(1), 1-22.

板谷厚 (2015). 感覚と姿勢制御のフィードバックシステム. *バイオメカニズム学会誌*, 39, 197-203.

Jilge B, Minassian K, Rattay F., et al. (2004) Initiating extension of the lower limbs in subjects with complete spinal cord injury by epidural lumbar cord stimulation. *Experimental Brain Research*, 154(3), 310-314.

Kaupp C, Pearcey GE, Klarner T., et al.(2018). Rhythmic arm cycling training improves walking and neurophysiological integrity in chronic stroke:the arms can give legs a helping hand in rehabilitation. *Journal of neurophysiology*, 119, 1095-1112.

Leonard CT (2002/ 2007). 松村道一, ヒトの動きの神経科学. 市村出版.

松浦俊 (2004). 神経系の引き込みによる2足ロボットの歩行運動生成. *日本ロボット学会誌*, 22(3), 336-342.

宮井一郎 (2017). I 新しいロジック編1.脳卒中後の機能回復の神経機序, 宮井一郎, 脳卒中の神経リハビリテーション新しいロジックと実践, 中外医学社, 3-6.

Ryu XR, Kuo AD (2021). An optimality principle for locomotor central pattern generators. *Sci Rep.* 11(1), 13140. doi: 10.1038/s41598-021-91714-1.

重枝利佳 (2012). 第4章第1節歩行バイオメカニクス概説, 山岸茂則, 臨床実践動きの捉え方をみるのかその思考と試行, 文光堂, 159.

Suzuki S, Nakajima T, Irie S, et al. (2017) Vestibular stimulation induced facilitation of cervical premotoneuronal systems in humans. *PLOS ONE*, 12(4), 175131-175147.

- Taga G (1998). A model of the neuro-musculo-skeletal system for anticipatory adjustment of human locomotion during obstacle avoidance, *Biol Cybern*, 78 (1), 9-17.
- 多賀徹太郎 (2002). 脳と身体の動的デザイン運動・知覚の非線形力学と発達. 金子書房, 42-52.
- Yaguchi H, Takei T, Kowalski D., et al. (2015). Modulation of Spinal Motor Output by Initial Arm Postures in Anesthetized Monkeys. *The Journal of Neuroscience*, 35(17), 6937-6945.
- Mariele et al (2017). Electromyographic analysis of constraint-induced movement therapy effects in patients after stroke in chronic course. *The Society of Physical Therapy Science*, 29, 1883-1888.
- 武田湖太郎 (2018). 痙縮の評価法：徒手的手法と生体工学的的手法. *バイオメカニズム学会誌*, 42, 211-218.

【Case Report】

A case report of acquiring quasi-moving gait of chronic stroke patient

Kazuhiro Oguchi¹⁾, Akio Kamijo²⁾, Shinichi Funami³⁾,
Shigenori Yamagishi⁴⁾

¹⁾ Dr. SONA Okaya

²⁾ Nagano College of Nursing, Division of Basic & Clinical Medicine

³⁾ BiNI rehabilitation center Tokyo, Ginza

⁴⁾ Dr. SONA Takada

【Abstract】 It can be challenging for patients with chronic stroke to recover their abilities. In particular, patients with stroke walk slowly and the center of gravity line passes the supporting base while they are standing on one leg. In contrast, healthy people walk without the center of gravity line passing the supporting base. To reacquire their gait, patients with stroke have to regain the ability to create inertial force subconsciously.

Most human activities are performed subconsciously. In this study, we trained a man with chronic stroke in his 50s who walked slowly, and with a T cane and orthosis with metal stanchions, to exercise subconsciously. He underwent the training program three times per week for seven months. After this training, he was able to walk quickly and safely without a T cane and his orthosis was changed to gait solution. In conclusion, the ability of patients with chronic stroke may be improved by training interventions like the one described above.

【Keywords】 hemiplegia, old cerebral infarction, functional recovery, self-organizing theory, inertial force

上條明生

〒399-4117

長野県駒ヶ根市赤穂1694番地

Tel: 0265-81-5155 Fax: 0265-81-5155

E-Mail: a.kamijo@nagano-nurs.ac.jp

Akio Kamijo

1694, Akaho, Komagane, Nagano, 399-4117,

JAPAN

TEL: +81-265-81-5155 FAX: +81-265-81-5155

E-Mail: a.kamijo@nagano-nurs.ac.jp