

リハビリテーション場面における患者—セラピストの身体協調に関する予備的検討

A preliminary study of patient-therapist coordination during gait rehabilitation

児玉 謙太郎[†], 安田 和弘[‡], 牧野 遼作[§]

Kentaro Kodama, Kazuhiro Yasuda, Ryosaku Makino

[†] 東京都立大学, [‡] 東京保健医療専門職大学, [§] 早稲田大学

Tokyo Metropolitan University, Tokyo Professional University of Health Sciences, Waseda University

kodama_k@tmu.ac.jp

概要

本研究ではリハビリ場面における患者—セラピスト間の身体協調が運動支援に及ぼす影響を明らかにするため、上級・初級セラピストで歩行介助時の個々人の歩行安定性と、二者間の歩行時の身体協調性の違いを比較した。その結果、上級者ペアの方が歩行安定性も身体協調性も高かった。これらの結果は、セラピストのスキルとして身体協調スキルがあり、これによって対象者の安定した動作を引き出している可能性が示唆された。

キーワード：身体知，個人間協調，歩行介助，非線形時系列解析

1. はじめに

リハビリテーション（以下、リハビリ）に従事する理学療法士や作業療法士（以下、セラピスト）には様々な専門的知識や能力が求められる。例えば、10年以上の経験を有する理学療法士は学生や初級者よりも歩行分析能力が高く、高齢者の歩行場面を見ることで、転倒リスクを正確かつ明確に評価できることとされている[1], [2]。一方、セラピストに求められる能力として患者とのコミュニケーション能力の重要性も指摘されている[3]。厚生労働省がセラピストを対象に2016年度に実施した業務実態調査の結果、セラピストに求められる能力の第1位はコミュニケーション能力であり、第3位が協調性であった[4]。このようにリハビリの現場においても他者とのコミュニケーションや協調の重要性が再認識されている。

ヒト同士のコミュニケーションにおける協調については、身体レベルの同期・協調が心理的・精神的・社会的レベルの協調にも関わり、コミュニケーション上も重要な役割を果たすため、これまでに様々な研究が行われてきた[5], [6]。例えば、身体的な協調が他者への協力意志や親和動機などの社会的因子と関連することが示されている[7], [8]。また、視覚情報や聴覚情報といった知覚情報が身体協調の程度に影響することも

指摘されている[9], [10]。昨今では、医療リハビリ場面における患者と臨床家の身体協調も信頼関係構築や知覚される痛みの軽減に影響する重要な要因であることが指摘されている[11]。

本研究では、リハビリ場面における患者—セラピスト間の身体協調が運動支援に及ぼす影響を明らかにすることを目的とし、熟達度の異なるセラピストを比較することで、そのスキルの一端にアプローチする。一般にセラピスト上級者の方が初級者より、患者の歩行や起立着座などの日常動作のパフォーマンスを向上させるスキルを有していると考えられる。例えば、理学療法士による脳卒中患者の歩行介助場面を対象とした先行研究では、加速度センサで患者の身体動揺を計測し、理学療法士と学生で比較した結果、学生が介助をしたときの方が患者の身体動揺が大きいことを報告している[12]。しかし、これらスキルの背景に患者—セラピスト間の身体協調が関わっているか否かは明らかにされていない。そこで、本研究では予備実験という位置づけで若年健常者を患者役としてリクルートし、同一の患者役の参加者とセラピスト2名（上級者、初級者）とでペアを組ませ、熟達度の異なるセラピストの身体協調スキルを比較検討する。

2. 方法

実験参加者

セラピストの上級者1名（40歳男性，理学療法士），初級者1名（20歳女性，理学療法学科2年生），患者役として若年健常者4名（平均22.25±2.63歳，男性2名・女性2名）（以下，患者役と略記）。

実験装置

加速度センサ（TSND151, ATR Promotion）を用いてセラピスト，患者役の腰部，両足首に装着して加速度，角速度を計測した（サンプリング周波数：200Hz）。本

発表では、腰部の垂直方向の加速度データを分析した結果を報告する。データの記録、処理、解析にはノートパソコン (LET' S NOTE CF-LV, Panasonic), Matlab (R2022a, MathWorks), RStudio (Version 2022.02.3) を用いた。

実験課題・手続き

セラピスト1名、患者役1名でペアとなり、リハビリにおける歩行介助場面を想定した歩行課題を行ってもらった。介助においては、言葉掛けや声掛けなどの言語的なインタラクションはせずに、患者役の身体に触れるという非言語的なインタラクションに限定された。セラピスト上級者と初級者は、同じ4名の患者役とペアを組み（それぞれ上級者ペア、初級者ペアと呼ぶ）、4ペアずつで上記の実験課題を行った。実験前、参加者それぞれの腰部、両足首に加速度センサが取り付けられた。歩行課題では、10mの廊下を患者役の自然なペースで歩行し、その際、セラピストは後方から患者役の身体に触れながら歩行の介助を行った。計6試行の歩行課題を行い、試行間では30秒程度の休憩を入れた。

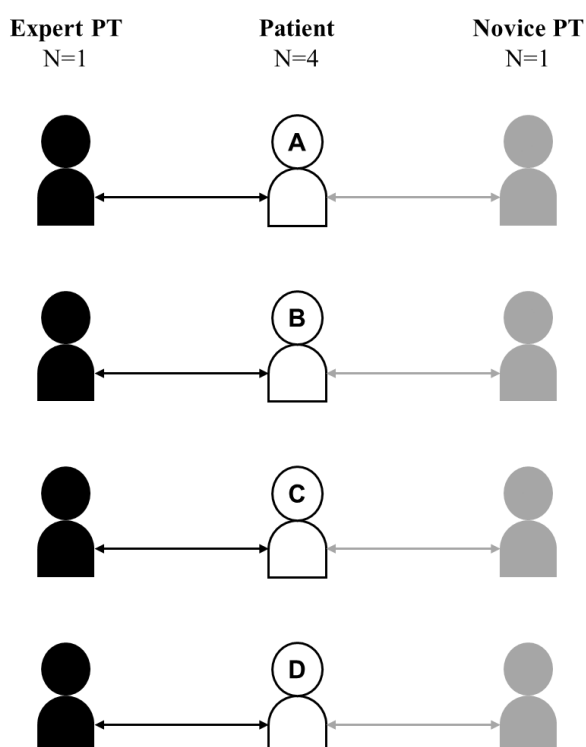


図1 上級者ペアと初級者ペア

4名の患者役（中）と、1名の上級セラピスト（左）、初級セラピスト（右）がそれぞれペアを組んで参加。

データ分析

加速度センサで計測した歩行時の時系列データのうち、歩行開始後2秒間は定常的な歩行状態ではないとみなし、分析対象から除外した。本発表では、歩行開始2秒後から4秒間を対象とした。分析対象区間を抽出した後、200Hzから100Hzにダウンサンプリングし（データ長400点）、フィルタリング（2次Butterworthカットオフ周波数10Hz）を行った後、以下に示す時系列解析を行った。

本研究では、歩行の安定性、および、個人間の身体協調を視覚化・定量化するために、(Cross-) Recurrence Plot (RP, CRP), (Cross-) Recurrence Quantification Analysis (RQA, CRQA) を応用した。これらの非線形時系列解析では、時間的に変化するシステム（力学系）の挙動にみられる“再帰性”を視覚的に2次元平面にプロットして表現する手法を Recurrence Plot (RP)、定量的に評価する手法を Recurrence Quantification Analysis (RQA) と呼ぶ[13], [14]。力学系の各時刻の状態は、高次元位相空間内の点として表現される。ここで、ある点から一定時間経過した後で、一定の範囲内に他の点が含まれる場合を軌道が“再帰”したと定義する。

CRP・CRQAでは、ふたつの時系列データを高次元位相空間内のふたつの軌道として再構成し、再帰のパターンを視覚化・定量化する。本研究では、位相空間内でふたつの軌道（時系列）が再帰した状態を“協調”とみなす[15]。CRPでは、ふたつの時系列が高次元位相空間内でどのように状態を共有するかを視覚化でき、CRQAではその再帰パターンを様々な観点から定量化し指標を算出する[16]。

本発表では、とくに時間的な持続性の観点からRP, CRPの対角線方向にみられる特徴に注目する。CRQAにより定量化される指標には様々なものがあるが、本発表では決定論性(%Determinism)を求める[16]。決定論性とはCRPの再帰点のうち対角線と平行な点の割合であり、システムの決定論的で予測可能な挙動を意味する[16]。

解析には、Cross Recurrence Plot Toolbox for MATLAB® [17]を用い、入力変数については先行研究に従い、遅延時間を Average Mutual Information, 埋め込み次元を False Nearest Neighbors 法によって最適値を求め、半径は再帰点が9%となるように設定され、遅延時間12, 埋め込み次元4が選定された[16], [18], [19]。尚、本発表ではサンプル数が少ないため、統計検定は行わない。

3. 結果

個人の歩行安定性

図2は、同じ患者役(C)に対し、上級セラピスト、初級セラピストそれぞれがペアとなり歩行介助を行ったときの個々のRPである。図2上段は上級者ペア、下段は初級者ペアで、いずれも左がセラピスト、右が患者役のRPである。上下の段を比較すると、上級者ペアの方が初級者ペアよりも対角線上に点がプロットされている様子が確認できる。

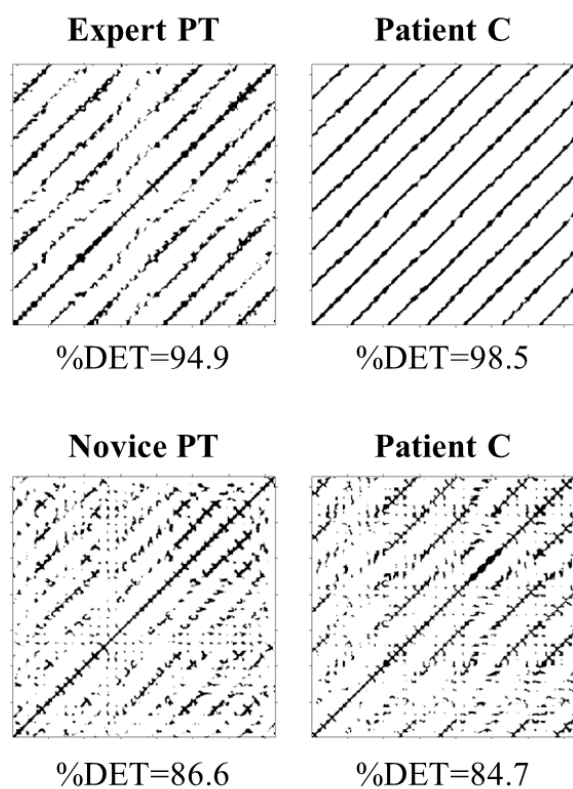


図2 サンプル RP

左上：上級セラピスト，右上：患者役 C
左下：初級セラピスト，右下：患者役 C

図3は、4名の患者役と上級セラピスト、初級セラピストそれぞれがペアとなり歩行介助を行ったときの個々のRQAの結果、決定論性(%DET)という指標の平均値を示す。上級者ペアでは、患者役が96.4(SD=0.6)%, セラピストが92.3(SD=2.8)%であり、初級者ペアでは、患者役が90.8(SD=2.4)%, セラピストが89.9(SD=0.7)%であった。患者役は、上級セラピストに歩行介助されたときの方が決定論性が高くなること、セラピスト個人では上級セラピストの方が決定論性が高くなること示された。

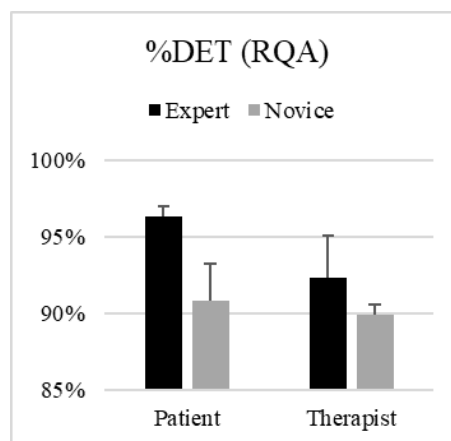


図3 RQAの結果(決定論性)

左：患者役，右：セラピスト
黒：上級セラピスト，灰色：初級セラピスト
エラーバー：標準偏差

二者間の歩行協調性

図4は、同じ患者役(C)に対し、上級セラピスト、初級セラピストそれぞれがペアとなり歩行介助を行ったときの二者間の協調性を示すCRPである。左は上級者ペア、右は初級者ペアである。左右を比較すると、個々のRPと同様に上級者ペアの方が初級者ペアより対角線上に点がプロットされている様子が確認できる。

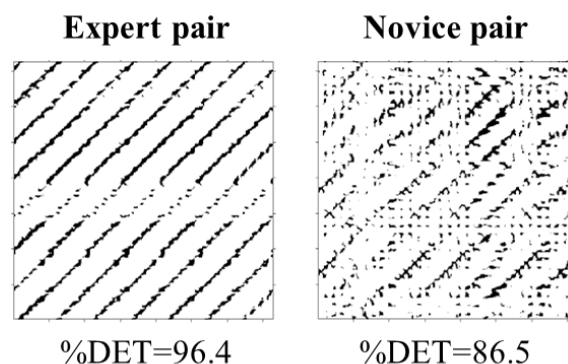


図4 サンプル CRP

左：上級者ペア，右：初級者ペア

図5は、4名の患者役と上級セラピスト、初級セラピストそれぞれがペアとなり歩行介助を行ったときの二者間の協調性を定量化するCRQAの結果、決定論性(%DET)という指標の平均値を示す。上級者ペアで93.8(SD=0.8)%, セラピストが90.1(SD=0.8)%と、上級者ペアの方が決定論性が高いことが示された。

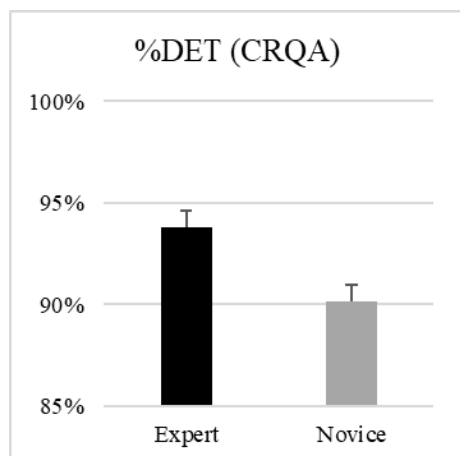


図5 CRQAの結果(決定論性)

4. 考察

個々人の歩行安定性について、RPおよびRQAで視覚化・定量化を行った。RPを上級者ペアと初級者ペアで比較したところ、上級者ペアの方が対角線上に点がプロットされている様子が確認された。また、RQAで算出される決定論性は、再帰点のうち対角線と平行な点の割合であり、上級者ペアの方が初級者ペアよりも高い値を示した。この結果は、RPの観察結果を定量的に示す形となった。なお、決定論性はシステムの決定論的で予測可能な挙動を意味し、先行研究[20]ではバランス障害を有する前庭障害者では歩行時の決定論性が低下することが示されている。よって、今回のデータにおいては、上級セラピストの方が患者役の歩行時の歩行を決定論性という点で安定化させていたと考えられる。なお、セラピスト自身の歩行安定性を見ても、上級セラピストの方が歩行が安定していたと考えられる。

個人間の歩行時の身体協調について、CRPおよびCRQAで視覚化・定量化を行った。CRPを上級者ペアと初級者ペアで比較したところ、RP同様、上級者ペアの方が対角線上に点がプロットされている様子が確認された。また、RQA同様、CRQAで算出される決定論性も上級者ペアの方が高い値を示した。この結果も、CRPの観察結果を定量的に示している。先行研究では、若齢者と高齢者が2名1組ペアとなり、手を組んで歩行するトレーニングを継続すると歩行の安定性(適応性)が高まること、二者間の歩行のダイナミクスが一致して協調性が高まることが示されている[21]。実験条件や介入の内容や期間、評価指標は異なるが、本研究でも触覚的なインタラクションによって二者間の歩行

の協調性が高まることが示唆されており、今後、どのようなインタラクションが初級者ペア・上級者ペアそれぞれで行われているか、多角的に分析し、明らかにする必要がある。また、先行研究によるとCRQAにより二者間の協調におけるLeader-Follower関係を評価することができる[22]、[23]。今後、インタラクションの詳細を調べ、臨床的な示唆に繋がる知見の提供を目指したい。そのためにも、今後、データ数を増やした検証が求められる。

また、本研究では健常者に患者役として参加してもらっていたため、本研究で示唆された結果が、実際の患者を対象とした場合に直接あてはめて考えられるかは慎重な検討が必要である。実際の患者では、多様な疾患や様態があり得るため、セラピストに求められる身体協調スキルもより柔軟で適応的なものになる。今後、多様な患者への適応スキルという点での検討も必要である。

5. おわりに

本研究ではリハビリ場面における患者—セラピスト間の身体協調が運動支援に及ぼす影響を明らかにするために、歩行介助場面を対象に熟達度の異なる2名のセラピストと患者役の個々人の歩行安定性と、二者間の歩行時の身体協調の違いを比較した。具体的には、歩行時の垂直成分の加速度データに対して、非線形時系列解析(再帰定量化分析)を応用した。その結果、上級者ペアの方が個々人の歩行安定性(決定論性)も、二者間の身体協調性(決定論性)も高い値を示し、上級者ペアで安定した歩行と協調が確認された。これらの結果は、セラピストのスキルとして、患者との身体協調スキルがあり、これにより対象者の安定した動作を引き出している可能性が示唆された。本発表は事例的なデータの報告に留まるが、今後、二者間のインタラクションの詳細を明らかにし、臨床の実践に有益な知見の提供が期待される。

謝辞

本研究は科学研究費補助金 基盤研究(C) 18KT0083の助成を受けて行われた。実験に協力して下さった方々、および、ご助言をいただいた理学療法士の先生方に深く感謝の意を表します。

文献

- [1] 松田徹, 吉田晋, 井上美幸, 村永信吾, 大嶋幸一郎, 川間健之介, (2018) “臨床判断を基盤とした転倒危険性の感じ方は理学療法士経験年数で異なるか?—Timed ‘Up & Go’ Test 遂行時の高齢者映像観察による検証—,” 理学療法科学, Vol. 33, No. 1, pp. 69-75.
- [2] 山本裕晃, 松田憲亮, 森田正治, (2020) “臨床実習経験は理学療法学生における歩行分析能力の経時的変化を与える—Wisconsin Gait Scale を用いた養成校学生の変化—,” 理学療法科学, Vol. 35, No. 2, pp. 159-163.
- [3] 高村浩司, (2017) “理学療法士に必要な臨床技能としてのハンズオフスキルと現任研修,” 理学療法ジャーナル, Vol. 51, No. 2, pp. 123-128.
- [4] 厚生労働省, (2016) “地域保健総合推進事業「自治体所属する理学療法士及び作業療法士の業務実態調査」,” 2016.
- [5] 児玉謙太郎, 岡崎俊太郎, 藤原健, 清水大地, (2021) “シンクロする人々: 個人間の身体的同期に関するレビュー,” 認知科学, Vol. 28, No. 4, pp. 593-608.
- [6] E. Delaherche, M. Chetouani, A. Mahdhaoui, C. Saint-Georges, S. Viaux, and D. Cohen, (2012) “Interpersonal synchrony: A survey of evaluation methods across disciplines,” IEEE Trans. Affect. Comput., Vol. 3, No. 3, pp. 349-365.
- [7] M. J. Hove and J. L. Risen, (2009) “It’s All in the Timing: Interpersonal Synchrony Increases Affiliation,” Soc. Cogn., Vol. 27, No. 6, pp. 949-960.
- [8] S. S. Wiltermuth and C. Heath, (2008) “Synchrony and Cooperation,” Psychol. Sci., Vol. 20, No. 1, pp. 1-5.
- [9] A. Paxton and R. Dale, (2017) “Interpersonal movement synchrony responds to high- and low-level conversational constraints,” Front. Psychol., Vol. 8, No. 1135.
- [10] K. D. Shockley, M.-V. Santana, and C. A. Fowler, (2003) “Mutual interpersonal postural constraints are involved in cooperative conversation,” J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform., Vol. 29, No. 2, pp. 326-332.
- [11] P. Goldstein, E. A. R. Losin, S. R. Anderson, V. R. Schelkun, and T. D. Wager, (2020) “Clinician-Patient Movement Synchrony Mediates Social Group Effects on Interpersonal Trust and Perceived Pain,” J. Pain, Vol. 21, No.11-12, pp. 1160-1174.
- [12] 光武翼, 植田耕造, 吉塚久記, 江越正次朗, 大古場良太, 堀川悦夫, (2017) “重度脳卒中片麻痺患者に対する後方からの歩行介助時の身体動揺に関する研究-理学療法士と理学療法科学学生との比較検証,” 理学療法さが, Vol. 3, No.1, pp. 7-16.
- [13] J. P. Zbilut and C. L. Webber, (1992) “Embeddings and delays as derived from quantification of recurrence plots,” Phys. Lett. A, Vol. 171, No. 3-4, pp. 199-203.
- [14] J. P. Zbilut, A. Giuliani, and C. L. Webber, (1998) “Detecting deterministic signals in exceptionally noisy environments using cross-recurrence quantification,” Phys. Lett. A, Vol. 246, No. 1-2, pp. 122-128.
- [15] K. D. Shockley, (2005) “Cross recurrence quantification of interpersonal postural activity,” in Tutorials in contemporary nonlinear methods for the behavioral sciences, M. Riley and G. Van Orden, Eds. pp. 142-177.
- [16] N. Marwan, M. Carmen Romano, M. Thiel, and J. Kurths, (2007) “Recurrence plots for the analysis of complex systems,” Phys. Rep., Vol. 438, No. 5-6, pp. 237-329.
- [17] N. Marwan, (2017) “Cross Recurrence Plot Toolbox for MATLAB®.”
- [18] M. I. Coco and R. Dale, (2014) “Cross-recurrence quantification analysis of categorical and continuous time series: an R package,” Front. Psychol., Vol. 5, No. 510.
- [19] C. L. Webber and J. P. Zbilut, (2005) “Recurrence quantification analysis of nonlinear dynamical systems,” in Tutorials in contemporary nonlinear methods for the behavioral sciences, M. Riley and G. Van Orden, Eds., pp. 26-94.
- [20] F. Sylos Labini, A. Meli, Y. P. Ivanenko, and D. Tufarelli, (2012) “Recurrence quantification analysis of gait in normal and hypovestibular subjects,” Gait Posture, Vol. 35, No. 1, pp. 48-55.
- [21] Z. M. H. Almurad, C. Roume, H. Blain, and D. Delignières, (2018) “Complexity Matching: Restoring the Complexity of Locomotion in Older People Through Arm-in-Arm Walking,” Front. Physiol., Vol. 9, No. 1766.
- [22] K. D. Shockley and M. A. Riley, (2015) “Interpersonal couplings in human interactions,” Underst. Complex Syst., pp. 399-421.
- [23] K. Kodama, S. Tanaka, D. Shimizu, K. Hori, and H. Matsui, (2018) “Heart Rate Synchrony in Psychological Counseling: A Case Study,” Psychology, pp. 1858-1874.