

理学療法学

Physical Therapy Japan

2022
VOL. 49
No.6

●研究論文（原著）

前十字靭帯損傷モデルマウスの自己治癒過程におけるリハビリテーション介入は靭帯治癒を阻害しない
…齊藤 陸・他

高齢心臓外科手術患者における Short Physical Performance Battery と入院関連能力低下との関連
…杉浦宏和・他

脊髄損傷領域における観察的歩行評価—Spinal Cord Injury Functional Ambulation Inventory (SCI-FAI) の日本語版作成と信頼性の検討—
…草野 凌・他

●症例研究

脳卒中片麻痺患者に対する歩行補助ロボットを用いた高速度歩行練習の効果
—シングルケースデザインによる検証—
…山田将成・他

●症例報告

呼吸理学療法と段階的運動療法の有効性が示唆された重症 COVID-19 症例
—集中治療関連筋力低下および運動誘発性低酸素血症への対応—
…瀬尾 哲・他

●講座

シリーズ「自主トレーニング指導・処方における工夫」
連載第6回目 がん患者に対する自主トレ指導のポイントと注意点
…井上順一朗

●投稿規程

理学療法学 第49巻 第6号 2022年

目 次

研究論文 (原著)

- 前十字靱帯損傷モデルマウスの自己治癒過程におけるリハビリテーション介入は靱帯治癒を阻害しない 齊藤 陸・他・381
- 高齢心臓外科手術患者における Short Physical Performance Battery と入院関連能力低下との関連 杉浦 宏和・他・389
- 脊髄損傷領域における観察的歩行評価—Spinal Cord Injury Functional Ambulation Inventory (SCI-FAI) の日本語版作成と信頼性の検討— 草野 凌・他・399

症例研究

- 脳卒中片麻痺患者に対する歩行補助ロボットを用いた高速度歩行練習の効果—シングルケースデザインによる検証— 山田 将成・他・408

症例報告

- 呼吸理学療法と段階的運動療法の有効性が示唆された重症 COVID-19 症例—集中治療関連筋力低下および運動誘発性低酸素血症への対応— 瀬尾 哲・他・415

講 座

- シリーズ「自主トレーニング指導・処方における工夫」
連載第6回目 がん患者に対する自主トレ指導のポイントと注意点 井上順一郎・421

- 投稿規程 427

CONTENTS Vol. 49 No. 6 2022

Research Reports (Original Article)

- Rehabilitation in the Spontaneous Healing Process of Completely Ruptured Anterior Cruciate
Ligament Does not Inhibit Ligamentation in a Mouse Model Saito R., *et al.* • 381
- Association between Short Physical Performance Battery and Hospital-acquired Disability in Older
Cardiac Surgery Patients Sugiura H., *et al.* • 389
- Translation and Reliability of the Japanese Version of the Spinal Cord Injury Functional Ambulation
Inventory (SCI-FAI) Kusano S., *et al.* • 399

Case Study

- Effect of High-speed Robot-assisted Gait Training in Patients Who Have Experienced Hemiparetic
Stroke: A Single-case Study Yamada M., *et al.* • 408

Case Report

- The Effect of Pulmonary Physical Therapy and Exercise Therapy for a Sever COVID-19 Patient:
Focused on Intensive Care Unit-acquired Weakness and Exercise Induced Hypoxemia
..... Seo T., *et al.* • 415

Lecture

- Self-exercise Instruction for Patients with Cancer Following Chemotherapy and Radiation Therapy
..... Inoue J. • 421

研究論文 (原著)

前十字靱帯損傷モデルマウスの自己治癒過程における リハビリテーション介入は靱帯治癒を阻害しない*

齊藤 陸^{1) #} 相澤 幸夏²⁾ 宇佐美優奈¹⁾
荒川 航平¹⁾ 榎本 沙彩¹⁾ 国分 貴徳^{1) 3)}

要旨

【目的】膝前十字靱帯 (Anterior Cruciate Ligament : 以下, ACL) 自己治癒モデルマウスに対する運動介入が, 治癒 ACL にもたらす影響を検討した。【方法】C57BL/6 マウス 32 匹を対象に ACL を切断, 脛骨前方変位制動術 (Controlled Anterior Tibial Translation : 以下, CATT) 後, 4 週時点から 2 種類のリハビリテーション (脛骨制動術の除去 (de-CATT) ・トレッドミル運動 (Exercise : 以下, Ex)) を実施した。その組み合わせにより Cage Activity (以下, CA) /CATT, CA/de-CATT, Ex/CATT, Ex/de-CATT の 4 群に分類した。損傷後 8 週時点で膝関節を採取し, 治癒 ACL の連続性と成熟度評価, また脛骨前方引き出し試験, 破断強度試験を実施した。【結果】全群で ACL 治癒を確認した。Ex 群では治癒の成熟度が高い傾向, Ex/de-CATT 群で強度が高い傾向を示したが, 統計学的有意差は認めなかった。【結論】自己治癒した ACL に対する運動介入は治癒を阻害せず, ACL の治癒・成熟を促進する可能性を示唆した。

キーワード 前十字靱帯, 自己治癒, リハビリテーション, メカニカルストレス

はじめに

膝前十字靱帯 (Anterior Cruciate Ligament : 以下, ACL) は, 骨構造上不安定な膝関節において, 最も重要な静的安定化機構である。よって運動時には大きな力学的ストレスにさらされ, スポーツ傷害が高頻度に発生する。スポーツでの膝関節靱帯損傷のほぼ半数は ACL 損傷といわれ, 米国では年間 10 万件以上発生し, 治療費は 20 億ドル以上と推定されている^{1) 2)}。これまで ACL 損傷は, アスリートの傷害という側面が強かったが, 近年では患者年齢層が拡大³⁾しており, それとともに比較的活動量の低い中高年以上の患者で理学療法を中心とした保存

的治療のニーズが高まっている。さらにこれは, 高齢化に伴いスポーツに興じる高齢者が増加することで拡大することが予想される。現状では, 損傷 ACL は自己治癒能が低く, 完全断裂した場合は自己治癒しないとされている。さらに ACL 損傷を放置すると半月板損傷や軟骨損傷などの二次的損傷が生じる⁴⁾。そのため, 現状の治療選択はハムストリングスや膝蓋腱などの自家腱を用いた外科的再建術が一般的となっている。しかし, 外科的再建術に関しては自家腱採取部の疼痛の長期残存や, 筋力低下などの二次的な機能障害が報告されている⁵⁾。また, ACL 損傷を経験した患者の 60~90% が, その後変形性膝関節症に移行すると報告されているが, 再建術による外科的介入はこの変形性膝関節症のリスクをさらに高める可能性も指摘されている^{6) 7)}。これらの再建術に伴うリスクは, 特に中高年以上の患者にとって致命的なものになりうる。以上より, 損傷 ACL を治癒に導く保存的治療法とその後の理学療法を中心とした, 患者自身の負担が少ない非外科的治療法確立が求められている。

上述したように, 現状では完全断裂後の ACL は自己治癒しないというのが臨床上の一般的な見解であり, この理由について実験動物を対象とした先行研究では, 関節包内の血流量の不足やコラーゲン線維の含有率, 治

* Rehabilitation in the Spontaneous Healing Process of Completely Ruptured Anterior Cruciate Ligament Does not Inhibit Ligamentation in a Mouse Model

1) 埼玉県立大学大学院保健医療福祉学研究所
(〒343-8540 埼玉県越谷市三野宮 820 番地)
Riku Saito, PT, Yuna Usami, PT, Kohei Arakawa, PT, MSc, Saaya Enomoto, PT, Takanori Kokubun, PT, PhD: Graduate School of Health, Medicine, and Welfare, Saitama Prefectural University

2) 医療法人名主会白岡整形外科リハビリテーション科
Yukina Aizawa, PT: Shiraoka Orthopedics Clinic, Department of Rehabilitation

3) 埼玉県立大学保健医療福祉学部理学療法学科
Takanori Kokubun, PT, PhD: Department of Physical Therapy, School of Health and Social Services, Saitama Prefectural University

E-mail: riku.3110.16@gmail.com
(受付日 2022 年 4 月 26 日 / 受理日 2022 年 10 月 18 日)
[J-STAGE での早期公開日 2022 年 12 月 7 日]

癒に関連する Transforming Growth Factor- β (TGF- β) や α -smooth muscle action (α -SMA) の発現量など、関節包内の特殊な環境から ACL が治癒しない要因について多く報告されてきた⁸⁻¹⁰⁾。これに対して、Ihara らは臨床研究において、ACL 損傷患者に装具を用いて膝関節に対する力学的ストレスをコントロールすることで ACL が自己治癒することを明らかにした¹¹⁾¹²⁾。さらに Kokubun らは、実験動物を対象として ACL 完全断裂後に生じる異常関節運動という関節包外因子に着目し、脛骨の前方変位を制動することで完全損傷した ACL を自己治癒に導くことができるモデルを確立した¹³⁾。このように ACL は完全損傷した場合でも一定の条件下では自己治癒することが明らかとなっている。しかし、これまでの動物実験では自己治癒した ACL の力学的強度は正常 ACL の 50~70% 程度と低く、治癒した ACL の再接続部分では未分化な多数の細胞が不整なまま凝集している像が観察されている。このように自己治癒した ACL の組織特性は不十分であることが明確であるが、これらの特徴は、単なる時間経過では改善しないことも明らかとなっている。特に力学的強度の低下は保存的治療法の確立に向けた大きな課題となるが、自己治癒した ACL の成熟メカニズムは未解明である。

この課題を解決するためには、保存療法においても外科的再建術後と同様に ACL 治癒後のリハビリテーションが重要になる。靱帯・腱治癒に関する動物実験では、治癒した内側側副靱帯 (Medial Collateral Ligament: 以下、MCL) への伸張ストレスが靱帯強度を改善するとの報告¹⁴⁾ や、棘上筋腱縫合術後の適切な運動介入は腱の強度や成熟度を改善するとの報告¹⁵⁾ がある。このように一般的に治癒後の組織に対する適切なメカニカルストレスは靱帯・腱の力学的強度や成熟度を改善する。よって、ACL 自己治癒後の適切なリハビリテーション介入は ACL の治癒・成熟を促進し、力学的強度を改善できると予測される。さらに ACL 再建術後のリハビリテーションでは、術後早期からのモビライゼーションや荷重負荷によって関節拘縮や筋力低下などの二次的機能障害を抑制できることが報告¹⁶⁾ されている。そのため、ACL 治癒後のリハビリテーションでも同様に、二次的機能障害を予防・改善する効果が期待できる。しかし、自己治癒過程にある脆弱な組織に対する過剰なリハビリテーションは治癒不全や再損傷のリスクを伴う。棘上筋腱を対象とした動物実験においても、組織損傷後および術後早期の荷重負荷や過度な運動介入は組織の回復を遅延させ、変性を惹起することが明らかとなっている¹⁷⁾。よって ACL 自己治癒後のリハビリテーションは、開始するタイミングとその強度等を慎重に検討する必要があるが、現時点ではリハビリテーション研究はほとんど行われておらず、そもそも運動を中心としたリハビリテーションが自

己治癒過程の ACL にどのような効果をもたらすのかは不明である。そこで本研究では、ACL 自己治癒モデルマウスを対象として、リハビリテーション介入が治癒 ACL にもたらす影響を組織学的および力学的視点から探索した。それによりリハビリテーションによる治癒 ACL の再断裂リスクおよび ACL の成熟度・強度に対する介入効果を明らかにすることを目的とした。本研究で得られた知見によって、損傷 ACL の自己治癒過程におけるリハビリテーションプログラムの確立に向けた、基準となる基礎的データを提供できると考えている。

対象および方法

本研究内容は埼玉県立大学動物実験倫理委員会の承諾を受け、学内動物実験指針を厳守し実施した (承認番号: 2021-9)。

1. 実験デザイン

対象は、8週齢の雌性 C57BL/6 マウス 32 匹とした。全てのマウスの右後肢に対して、ACL の切断、および先行研究¹³⁾ で ACL が自己治癒することが明らかとなった脛骨前方変位制動術 (Controlled Anterior Tibial Translation: 以下、CATT) を施行した。ACL の切断方法は、予備実験にて損傷後の脛骨前方変位量を検証し、ばらつきが少ないことが確認され確立された手法を採用した。深麻酔としてドミツール (日本全薬工業 株式会社, 福島), ドミルカム (丸石製薬, 大阪), ベトルファール (Meiji Seika ファルマ株式会社, 東京) の三種混合麻酔を腹腔内投与 (10 mL/kg) した後、膝関節屈曲位とし、大腿骨を徒手的に後方に押し込むことで ACL を切断した (図1)。ACL 切断後、脛骨前方引き出しが誘導されることを徒手的に確認した。その後、異常な脛骨前方変位を制動する (CATT) ため 25 ゲージ針を用いて大腿骨顆部後方と脛骨近位部前方に骨孔を形成し、3-0 ナイロン糸をループ状に通すことで脛骨の前方変位を制動した (図2)。なお CATT によって関節運動は制限されず、脛骨の前方変位が制動されたことを徒手的に確認した後、皮膚を閉創した。

CATT 後の飼育環境は、気温 23°C, 12 時間サイクルで明暗とし、餌や給水は自由に摂取できる条件下のもと、運動制限は設けなかった。

ACL 切断後、4 週時点でマウスを以下の 4 群に無作為に分類した (各群 $n=8$)。①ケージ内で通常飼育 (Cage Activity: 以下、CA) を行い、CATT を継続した CA/CATT 群、②ケージ内で CA を行い、CATT を除去した CA/de-CATT 群、③週 3 日のトレッドミル運動 (Exercise: 以下、Ex) を行い、CATT を継続した Ex/CATT 群、④週 3 日の Ex を行い、CATT を除去した Ex/de-CATT 群。全てのマウスは ACL の切断後 8 週時点で炭酸ガスの吸入、頸椎脱臼法にて屠殺し、大腿骨骨幹部以遠を切り離

すことで膝関節の採取を行った。なお、ACLの切断およびCATTの介入を実施していない左後肢を正常ACLとして同様に組織採取を行い各解析に使用した(図3)。

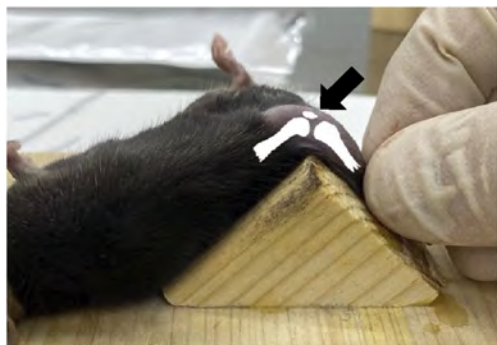


図1 ACL徒手の切断方法

膝関節屈曲位で、大腿骨を徒手的に後方に押し込む(矢印)ことでACLを切断した。

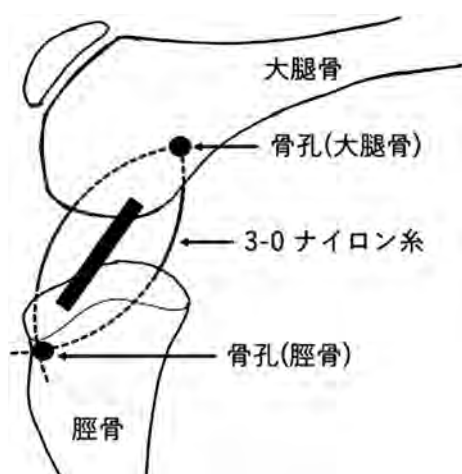


図2 脛骨前方変位制動術

大腿骨顆部後方および脛骨近位部前方に骨孔を形成した後、3-0ナイロン縫合糸をループ状に通すことでACL損傷後の生じる脛骨前方変位を制動した。

2. トレッドミル運動

Ex/CATT群、Ex/de-CATT群に割り当てられたマウスは小動物用トレッドミル(室町機械株式会社、東京)を使用してトレッドミル運動を実施した。トレッドミルは、仕切りによって10レーンに分けられており、後端には電流刺激装置(0.1 V)があり、ランニングを誘導した。運動介入開始前に1週間の適応期間を設け、音や視界などの環境やトレッドミル上を走ることに適応させた。適応期間は、1日20分間で6日間実施し、静止したトレッドミル上での適応(10分間)の後、実験での走行速度以下6-10 m/minでのトレッドミル走行(10分間)を行うことでトレッドミル内の環境に適応させた。その後4週間、週3日、1日20分、10 m/minのプロトコールで運動介入を実施した。

3. 脛骨前方引き出し試験

ACLが自己治癒した膝の弛緩性を評価するために、脛骨前方引き出し試験を実施した(各群n=4)。大腿骨骨幹部に遠を切り離すことで採取した膝関節サンプルは、筋組織を切除した上で自作の前方引き出し装置に膝関節90度屈曲位で固定した。その後、定力バネで脛骨を前方に引き出し、X線装置(ソフテックス株式会社、神奈川)にて膝関節の矢状面撮影を実施した。なおX線撮影の前後は、組織の乾燥を防ぐため生理食塩水中に保存した。撮影したX線画像から画像解析ソフトImageJ(ver. 1.53)を用いて大腿骨-脛骨間距離を計測し、脛骨前方変位量を算出した。大腿骨-脛骨間距離は、大腿骨顆部の最大前方突出点とその点からの脛骨長軸への垂線の交点の2点間の距離とした(図4)。

4. 組織学的解析

脛骨前方引き出し試験を実施した膝関節サンプルを用いて組織学的解析を実施した(各群n=4)。脛骨前方引き

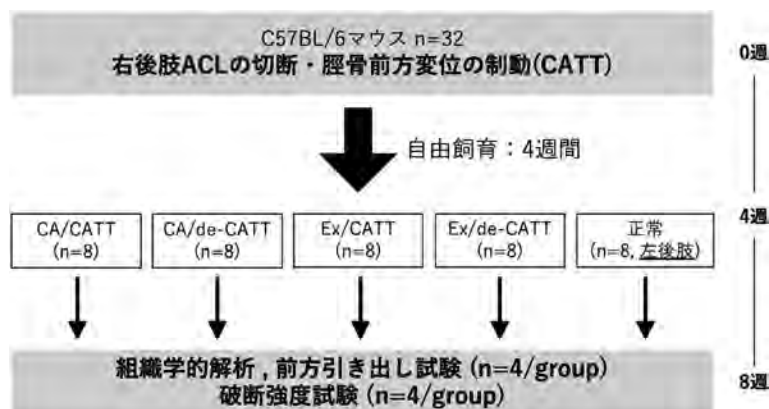


図3 実験デザイン

全てのマウスでACLの切断および脛骨前方変位制動術を実施。4週間の自由飼育後、4週間リハビリテーション介入(関節制動の除去/トレッドミル運動)を実施した。ACL損傷後8週時点で組織採取を行い、各解析を実施した。また、ACLの切断およびCATTを実施していない左後肢を正常群として採用した。

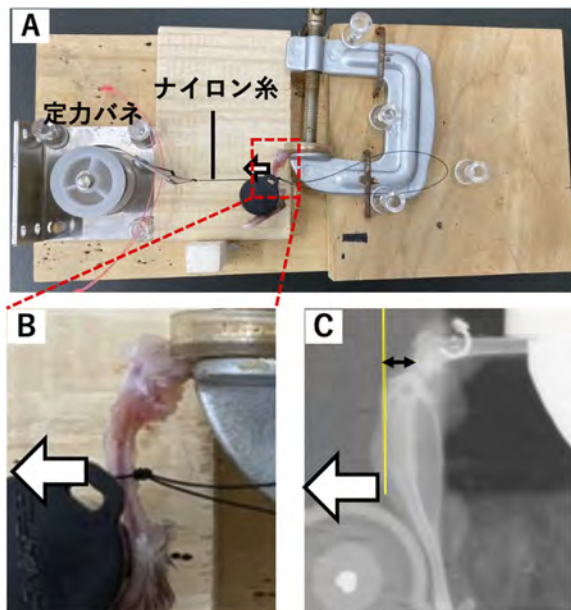


図4 脛骨前方引き出し装置および脛骨前方変位量計測方法
自作の前方引き出し装置(A)を用いて脛骨前方引き出し試験を実施した。装置に膝関節90度屈曲位で固定し、前方に固定している定力バネにつながるナイロン糸を用いて脛骨を前方に引き出した(B)。その状態でX線画像(C)を撮影し、脛骨前方変位量(黒矢印)を計測した。

出し試験の実施後、脛骨骨幹部より遠位部を切断し、直ちに4%パラホルムアルデヒド溶液で浸漬固定した(4°C, 24~48時間)。脱灰は、10%EDTA(シグマアルドリッチジャパン合同会社、東京)を用いて、脱灰した。脱灰終了後、スクロース置換処理を実施した後、OCT compound(サクラファインテックジャパン株式会社、東京)で凍結包埋を行った。凍結包埋した組織はCryostar NX70(サーモフィッシャーサイエンティフィック株式会社、神奈川)を用いて12 μm に薄切した。凍結切片はHematoxylin & Eosin(以下、HE)染色を行い、ACLの連続性、および各群の核配列などの形態学的特徴を光学顕微鏡下で観察した。また、Picrosirius Red染色によって、ACLの成熟度を評価した。Picrosirius Red染色によって染められた組織は、偏光顕微鏡下で観察すると非コラーゲン物質は観察できず、網状に配列した成熟度の低いコラーゲン線維は暗色(黒~緑)、平行に配列した成熟度の高いコラーゲン線維は明色(黄緑~黄色)に観察される。これを0~255のRGB256段階で示されるグレースケール画像に変換すると、グレースケールが高いほどコラーゲンが整列しており、ACLの成熟度が高いことを示している¹⁸⁾¹⁹⁾。そのため、染色プロトコルや偏光顕微鏡でのACLの撮影角度等の撮影条件を統一した上で染色組織を撮影し、得られたカラー画像を、プログラミング言語Pythonを用いてグレースケール画像に変換した。そのグレースケール画像のACL領域から、10個の正方形(50 μm ×50 μm)をランダムに抽出し、その10個の正方形領域のグレースケールの平均値を代表値として各ACLのグレースケールとし

て算出し、ACLの成熟度を評価した。

5. 破断強度試験

自己治癒したACLの力学的強度を評価するために、各群残りの4肢を用いてACLの破断強度試験を実施した(各群n=4)。破断強度試験は、引張試験機Univert(オレンジサイエンス株式会社、神奈川)を用いて実施した。大腿骨骨幹部より遠から切り離し採取した膝サンプルは、大腿骨と脛骨を連結する唯一の組織がACLとなるように、ACL以外の軟部組織(膝蓋腱、側副靱帯、後十字靱帯、半月板など)を切除した。またCA/CATT群およびEx/CATT群では、脛骨前方変位を制動したナイロン糸を除去した。その後、膝関節伸展位で大腿骨と脛骨を専用の治具に固定した。試験では、Pre load 0.1N、引張速度10 mm/minの条件でACLが破断するまで荷重をかけた。試験により計測された最大荷重点をACLの破断強度として算出した。

6. 統計学的解析

統計学的解析では、プログラミング言語Pythonを使用した。Shapiro-Wilk検定で正規性を評価、Bartlett検定で等分散性を評価し、Kruskal-Wallis検定を行ったのち、Steel-Dwass検定を行い、多重比較を行った。なお、全ての統計手法とも有意水準は5%未満とした。

結 果

1. 組織学的解析

HE染色・Picrosirius Red染色(グレースケール化)の組織像およびグレースケールを図5に示す。HE染色では、全ての群でACLの連続性が確認された。その一方で、核配列に関しては正常群では核がACL長軸方向に平行に配列しているが、他の4群では核が不均一に凝集している組織像が共通して観察された(図5-A)。靱帯の成熟度を示すグレースケールは、正常群:165.921±5.076, CA/CATT群:103.5±20.8, CA/de-CATT群:117.4±17.4, Ex/CATT群:149.3±22.2, Ex/de-CATT群:141.5±15.9であった。正常群が最も高く、次いでトレッドミルを実施したEx/de-CATT, Ex/CATT群、そしてCA/de-CATT, CA/de-CATT群の順に高い傾向を示したが、5群間に有意差は認めなかった(図5-B)。

2. 脛骨前方引き出し試験

前方引き出し試験の結果を図6に示す。脛骨前方変位量は、正常群:0.34±0.10mm, CA/CATT群:1.13±0.19mm, CA/de-CATT群:1.22±0.20 mm, Ex/CATT群:1.02±0.25 mm, Ex/de-CATT群:1.03±0.37 mmであり、正常群の脛骨前方変位量が低い傾向を示したが、有意差は認めなかった。

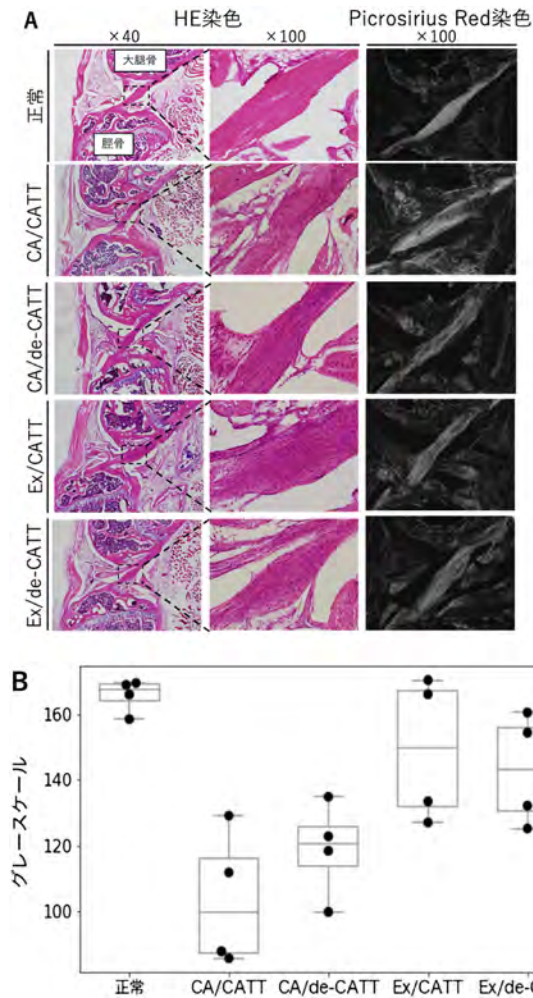


図5 染色像とPicrosirius Red染色グレースケール結果

(A) 正常群, CA/CATT群, CA/de-CATT群, Ex/CATT群, Ex/de-CATT群のHE染色およびPicrosirius Red染色のグレースケール画像を示している。HE染色では全群でACLの連続性を確認した。HE染色にて観察された核配列等の形態的特徴は、正常群ではACL長軸方向に核が規則的に配列しているのに対し、他の4群では核が不均一に凝集しているが共通して観察された。(B) 靱帯の成熟度を示すグレースケールの結果を示している。正常群が最も高く、次いでEx/CATTおよびEx/de-CATT群、そしてCA/de-CATTおよびCA/CATT群の順で成熟度が高い傾向を示したが、有意差は認めなかった。

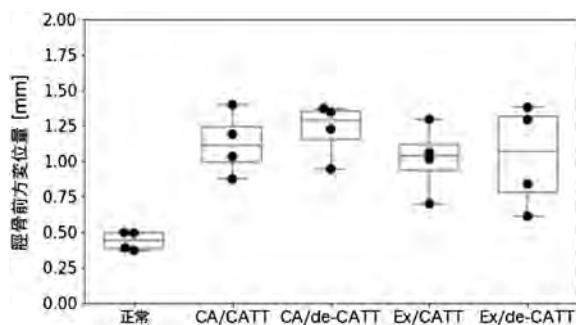


図6 脛骨前方変位量

脛骨前方引き出し試験によって算出した各群の脛骨前方変位量を示している。正常群の脛骨前方変位量が低い傾向を示したが、5群間で膝の弛緩性に有意な差は認めなかった。

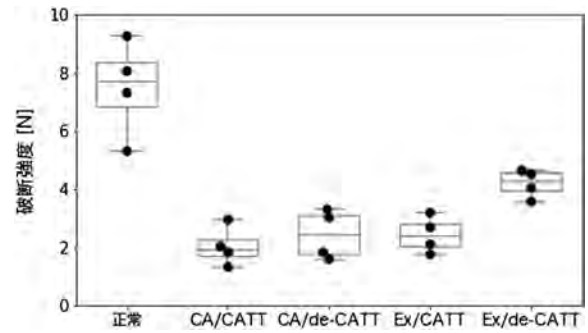


図7 ACL破断強度

破断強度試験によって計測した各群ACLの破断強度を示している。ACLの破断強度は、正常群が最も高く、次いでEx/de-CATT群が他の3群と比較して高い傾向を示したが、全ての群で有意な差は認めなかった。

3. 破断強度試験

破断強度試験の結果を図7に示す。ACLの破断強度は、正常群： 7.48 ± 1.66 N, CA/CATT群： 2.03 ± 0.68 N, CA/de-CATT群： 2.44 ± 0.86 N, Ex/CATT群： 2.43 ± 0.64 N, Ex/de-CATT群： 4.20 ± 0.48 Nであり、正常群が最も高く、次いでEx/de-CATT群で高い傾向を示したが、有意差は認めなかった。

考 察

本研究では、ACLが自己治癒したマウスに対してCATTの除去およびトレッドミル運動という二つの方法でACLへのメカニカルストレスを増加させる介入を実施し、ACLの組織学的・力学的特性を評価した。二つの介入の目的は、以下の通りである。CATTの除去は、ACLが自己治癒したのちに脛骨前方変位を制動していたナイロン糸を除去したことで、ACLに本来付与される脛骨前後変位に伴うメカニカルストレスを増加させることを目的とした。またトレッドミル運動は、実験動物を対象とした研究において一般的な運動介入方法で、自由飼育環境下と比較してランニング時間が増加し、膝関節運動が頻回となることで治癒ACLへのメカニカルストレスを増加させることを目的とした。この2種類のリハビリテーション介入を組み合わせることで、治癒ACLに対してメカニカルストレスの質と強度の異なるリハビリテーション介入を実施し、ACLの組織学的および力学的特性がどのように変化するのか検証した。その結果、本研究では全てのマウスでACLの再接続が確認され、運動によるメカニカルストレスの強度が最も高いEx/de-CATT群においてもACLの成熟度や力学的強度の低下などの有害事象は認めなかった。また正常ACLと比較すると、リハビリテーションを実施した治癒ACLでは、力学的強度が40~60%程度で、不整な核配列の組織像が認められた。これは、リハビリテーション介入を実施していないラットモデルでの先行研究¹³⁾と同程度の回復であった。この点からも、本研究で実施したリハビリ

テーション介入はACLの治癒を促進するには不十分であった。しかし同時に、ACLへのメカニカルストレスが単なる時間経過での回復を阻害するものではなかったことを示している。よって、少なくとも損傷後4週時点での治癒ACLは一定以上の強度回復が担保されており、この時点でのリハビリテーション介入はACLの治癒・成熟を阻害しないことが明らかとなった。

異常な脛骨前方変位を制動するCATTでは、損傷ACLは自己治癒するが、それだけでは治癒ACLの強度が完全には回復しないことは明らかとなっている。本来、正常ACLは膝関節運動に伴う脛骨の前後方向の動きを制動する役割を担っている²⁰⁾。しかしACL自己治癒モデルでは、ナイロン糸による制動術がその役割を果たしており、治癒ACLにかかる力学的ストレスは大きく制限されている。損傷直後のACLにとって脛骨の前後方向の動きは治癒を阻害する過剰なストレスである。その一方で、自己治癒過程のACLにとっては正常機能の獲得および強度回復を導くために必要不可欠なストレスであると予測されるため、本研究では損傷後4週時点でCATTを除去し脛骨の前後運動を誘導した。また、我々が実施した予備的検討では、損傷後4週時点においてACLが再接続したことを確認した。損傷MCLの自己修復過程²¹⁾と比較すると、損傷ACLは関節内という特殊な環境によって治癒反応が遅延する可能性を考慮した上で、損傷後4週時点のACLはリモデリング期にあることが推定された。靱帯・腱治癒では、炎症期・増殖期・リモデリング期の3つのプロセスにおいて、治癒の初期段階である炎症期の介入はネガティブな反応を示すことが多いとされている。その一方で、治癒後期にあたる増殖期・リモデリング期はメカニカルストレスへの反応性が良好で治癒・成熟を促進するとされている²²⁾ことから、本研究ではリモデリング期と推定された損傷後4週のタイミングを介入開始タイムポイントとした。その結果、CATTを除去したCA/de-CATT群およびEx/de-CATT群と、CA/CATT群およびEx/CATT群をそれぞれ比較すると、成熟度や強度の改善を認めなかったが、組織の変性や強度の低下などの悪影響はもたらさなかった。よって少なくとも損傷後4週時点において今回実施したトレッドミル走行に伴う脛骨の前方変位というメカニカルストレスは、治癒ACLにとって過剰なストレスではないことが明らかとなった。本研究では、損傷後4週時点のリモデリング期と予測されたタイムポイントで介入を開始したが、ラットで同様のモデルを用いた先行研究¹³⁾では、損傷後2週時点でACLの治癒が確認され、それがリモデリング期にあたりと報告されている。よってマウスモデルにおいても、損傷後4週時点よりも前にACLが治癒している可能性が考えられる。また治癒後期においても、最適なタイミングで介入を開始することが十分な組

織回復につながる。そのため、損傷後4週より早期に介入を開始することが効果的であると予測され、これを検証することで適切な介入開始タイミングを解明することができると考えている。

一般に、靱帯・腱損傷後の治癒過程におけるリハビリテーション介入は、関節可動域や筋機能の維持が図られる一方、治癒不全や二次的損傷が生じるリスクがある。先行研究が豊富な棘上筋腱を対象とした動物実験では、縫合術後早期に過度な運動介入を実施したことで無負荷群と比較して力学的強度や組織学的特性が低下したと報告されている¹⁷⁾。しかし本研究では、CA/CATT群とEx/CATT群の比較、およびCA/de-CATT群とEx/de-CATT群を比較すると、トレッドミル運動を実施したことによってACLの組織学的・力学的特性が低下しなかった。さらに有意差はないものの、Ex/CATTおよびEx/de-CATT群で靱帯の成熟度を示すグレースケールが高い傾向を示し、Ex/de-CATT群で力学的強度が高い傾向を示した。トレッドミル運動では、運動開始のタイミングと速度や継続時間といった運動強度が治癒反応に大きな影響を及ぼす。開始タイミングに関しては、トレッドミル運動でも同様により早期からの運動介入が可能であることが考えられるため、今後適切な運動プロトコルの検討することが必要となる。また本研究の運動強度に関しては、実験動物モデルにおいて自己治癒したACLに対するリハビリテーション効果を検証した先行研究がないことから、先行事例が豊富なC57BL/6を対象とした棘上筋縫合術後の運動介入を参考¹⁵⁾²³⁾にし、中等度以下の負荷量となるように設定した。運動によるメカニカルストレスは、筋線維芽細胞の活動を促し、靱帯・腱を構成するコラーゲンなどの細胞外マトリックスの産生が増加することで靱帯組織の強度にポジティブな影響をもたらすとされている¹⁴⁾¹⁵⁾²³⁾。しかし、低強度の運動ではその効果が限定的であること、強度が高すぎると逆に組織の変性を招くことから、「最適」な運動強度の解明が必要であるが、本研究結果から中等度以上の運動強度の介入がACLの治癒に有益である可能性が示唆された。

以上より、本研究で実施した損傷後4週時点での中等度以下の負荷量のリハビリテーションは、治癒ACLの組織学的・力学的特性を有意に改善させるには不十分であった。しかしその一方で、メカニカルストレスの負荷量が最も大きいEx/de-CATT群においても、治癒ACLの再断裂や力学的特性の低下は認められなかった。よってACL損傷後より早期のタイミングもしくは負荷量の高いリハビリテーション介入を実施することが可能であることが明らかとなり、今後のリハビリテーション研究の基準となる基礎的データを示すことができた。

本研究の限界として以下の点が挙げられる。一つ目は、ACL自己治癒後の介入開始タイミングや運動強度が

1種類であったため、最適な介入開始タイミング及び強度の検討はできていない点である。しかしながら本研究結果から、ACL自己治癒後のリハビリテーション介入は、その後の治癒・成熟を阻害しないことが明らかとなったため、今後介入開始タイムポイント・強度を増やして検討することでACLの強度・成熟度を改善する最適な介入プロトコルを解明できる可能性がある。二つ目は、組織学的・力学的解析のみで生化学的な解析を実施していない点である。本研究では、メカニカルストレスの増加に伴うACLのコラーゲン合成や治癒関連因子の発現などを評価できていない。そのため、リハビリテーション介入によるACLの治癒・成熟メカニズムは不明である。よって、今後生化学的評価を実施することでリハビリテーション介入に伴う治癒・成熟メカニズムを詳細に分析する必要がある。三つ目は、本研究の解析対象がACLのみという点である。ACL損傷後のリハビリテーションには、ACLの治癒・成熟の促進のほか、関節拘縮や筋力低下などの二次的機能障害を予防する効果も期待される。ACL外科的再建術では、ACLが他組織由来のグラフトになることで膝の固有感覚が障害され、そのためにリハビリテーションでは大腿四頭筋の筋力低下や変化した膝のキネマティクスを完全に回復させることは困難であるとされている²⁴⁾。しかし、ACL損傷後の保存的治療法では患者自身のACLを残存できるため、リハビリテーションによってこれらを改善できる可能性を秘めている。よって動物実験においてACL自己治癒後の筋機能や膝関節のキネマティクスを評価し、リハビリテーションがもたらす効果を多面的に明らかにすることでACL損傷後の保存的治療法の可能性を示すことができる。

結 論

本研究では、ACLが自己治癒したマウスモデルに対するリハビリテーション介入が、治癒ACLの組織学的・力学的特性に及ぼす影響を検討した。その結果、リハビリテーション介入を実施したことによって、治癒ACLの成熟度・力学的強度に有意差は生じなかった。よって損傷後4週時点からの中等度以下の負荷量のリハビリテーション介入は、治癒組織の再断裂および成熟度の低下や力学的強度の低下などの有害事象を及ぼすことはなかった。これは治癒ACLが一定以上の回復を担保していることを示しており、今後より適切なリハビリテーションプログラムを確立する上で、基準となる基礎的データを示すことができた。以上より、損傷後4週時点での中等度以下のリハビリテーション介入はACLの治癒を阻害せず、今後介入開始タイミングや負荷量の検証をすることで自己治癒過程のACLの成熟を促進する効果的なリハビリテーションプログラムを確立できる可能性が示唆された。

利 益 相 反

開示すべき利益相反はない。

文 献

- 1) Spindler KP, Wright RW: Anterior cruciate ligament tear. *N Engl J Med*. 2008; 13: 2135–2142.
- 2) Kiapour AM, Murray MM: Basic science of anterior cruciate ligament injury and repair. *Bone Joint Res*. 2014; 3: 20–21.
- 3) Granan LP, Bahr R, *et al.*: Development of a national cruciate ligament surgery registry. *Am J Sports Med*. 2008; 36: 308–315.
- 4) Chen G, Tang X, *et al.*: The evaluation of patient-specific factors associated with meniscal and chondral injuries accompanying ACL rupture in young adult patients. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2015; 12: 792–798.
- 5) 日本整形外科学会, 日本関節鏡・膝・スポーツ整形外科学会: 前十字靱帯損傷診療ガイドライン2019. 株式会社 南江堂, 東京, 2019, pp. 62–63.
- 6) Luc B, Gribble PA, *et al.*: Osteoarthritis prevalence following anterior cruciate ligament reconstruction: A systematic review and numbers-needed-to-treat analysis. *J Athl Train*. 2014; 49: 806–819.
- 7) Wang LJ, Zeng N, *et al.*: Post-traumatic osteoarthritis following ACL injury. *Arthritis Res Ther*. 2020; 22: 57.
- 8) Bray RC, Leonard CA, *et al.*: Correlation of healing capacity with vascular response in the anterior cruciate and medial collateral ligaments of the rabbit. *J Orthop Res*. 2003; 21: 1118–1123.
- 9) Amiel D, Billings E Jr., *et al.*: Collagenase activity in anterior cruciate ligament: protective role of the synovial sheath. *J Appl Phys*. 1990; 69: 902–906.
- 10) Menetrey J, Laumonier T, *et al.*: α -Smooth muscle actin and TGF- β receptor I expression in the healing rabbit medial collateral and anterior cruciate ligaments. *Injury*. 2011; 42: 735–741.
- 11) Ihara H, Miwa M, *et al.*: MRI of anterior cruciate ligament healing. *J Comput Assist Tomogr*. 1996; 20: 317–321.
- 12) Ihara H, Tsutomu K: Influence of age on healing capacity of acute tears of the anterior cruciate ligament based on magnetic resonance imaging assessment. *J Comput Assist Tomogr*. 2017; 41: 206–211.
- 13) Kokubun T, Kanemura N, *et al.*: Effect of changing the joint kinematics of knees with a ruptured anterior cruciate ligament on the molecular biological responses and spontaneous healing in a rat model. *Am J Sports Med*. 2016; 44: 2900–2910.
- 14) Gomez MA, Woo SL, *et al.*: The effects of increased tension on healing medial collateral ligaments. *Am J Sports Med*. 1991; 19: 347–354.
- 15) Chen H, Li S, *et al.*: Effect of exercise intensity on the healing of the bone-tendon interface: A mouse rotator cuff injury model study. *Am J Sports Med*. 2021; 49: 2064–2073.
- 16) Grinsven S, Cingel RE, *et al.*: Evidence-based rehabilitation following anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2010; 18: 1128–1144.
- 17) Wada S, Lebaschi AH, *et al.*: Postoperative tendon loading with treadmill running delays tendon-to-bone healing: Immunohistochemical evaluation in a murine rotator cuff repair model. *J Orthop Res*. 2019; 37: 1628–1637.
- 18) Koike Y, Trudel G, *et al.*: Formation of a new enthesis after attachment of the supraspinatus tendon: A quantitative histologic study in rabbits. *J Orthop Res*. 2005; 23: 1433–1440.
- 19) Uezono K, Ide J, *et al.*: Effect of postoperative passive motion on rotator cuff reconstruction with acellular dermal matrix grafts in a rat model. *Am J Sports Med*. 2014; 42: 1930–1938.
- 20) Bates NA, Myer GD, *et al.*: Anterior cruciate ligament biome-

- chanics during robotic and mechanical simulations of physiologic and clinical motion tasks: A systematic review and meta-analysis. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2015; 30: 1–13.
- 21) Chamberlain CS, Crowley E, *et al.*: The spatio-temporal dynamics of ligament healing. *Wound Repair Regen*. 2009; 17: 206–215.
- 22) Eliasson P, Andersson T, *et al.*: Achilles tendon healing in rats is improved by intermittent mechanical loading during the inflammatory phase. *J Orthop Res*. 2012; 30: 274–279.
- 23) Zhang J, Wang JH: The effects of mechanical loading on tendons—An in vivo and in vitro model study. *PLoS One*. 2013; 8: e71740.
- 24) Petersen W, Taheri P, *et al.*: Return to play following ACL reconstruction: A systematic review about strength deficits. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2014; 134: 1417–1428.

〈Abstract〉

Rehabilitation in the Spontaneous Healing Process of Completely Ruptured Anterior Cruciate Ligament Does not Inhibit Ligamentation in a Mouse Model

Riku SAITO, PT, Yuna USAMI, PT, Kohei ARAKAWA, PT, MSc, Saaya ENOMOTO, PT,
Takanori KOKUBUN, PT, PhD

Graduate School of Health, Medicine, and Welfare, Saitama Prefectural University

Yukina AIZAWA, PT

Shiraoka Orthopedics Clinic, Department of Rehabilitation

Takanori KOKUBUN, PT, PhD

Department of Physical Therapy, School of Health and Social Services, Saitama Prefectural University

Objective: The purpose of this study was to investigate the effect of treadmill exercise on spontaneously healed anterior cruciate ligament (ACL) in a mouse model.

Methods: We used 32 C57BL/6 mice. The ACLs of all mice were ruptured, and abnormal anterior tibial translation was controlled. After 4 weeks, interventions to de-control anterior tibial translation (de-CATT) and to add treadmill exercise (Ex) were started. Combinations of these two types of interventions were divided into four groups: CA (Cage activity)/CATT group, CA/de-CATT group, Ex/CATT group, and Ex/de-CATT group. At 8 weeks after ACL injury, mice were euthanized and knee joints were harvested. We performed H&E staining and Picrosirius Red staining to evaluate the continuity and maturity of the ACL. The laxity of the knee joint was assessed by the anterior tibial drawer test. Additionally, the biomechanical properties were measured to evaluate the mechanical strength of the healed ACL.

Results: All mice in this study showed continuity of the ACL. In addition, there was a trend toward higher maturity of the healed ACL in the Ex. Groups and higher strength in the Ex/de-CATT group. However, no significant differences were observed.

Conclusion: This study suggests that rehabilitation with treadmill exercise for spontaneously healed ACLs does not inhibit the healing process and may promote healing and maturation of the ACL.

Key Words: Anterior cruciate ligament, Spontaneous healing, Rehabilitation, Mechanical stress

研究論文 (原著)

高齢心臓外科手術患者における Short Physical Performance Battery と入院関連能力低下との関連*

杉浦 宏和^{1) #} 坂田 純一²⁾ 柳 清洋 佑²⁾ 杉山博太郎²⁾ 中村 雅則²⁾

要旨

【目的】高齢心臓外科手術患者における Short Physical Performance Battery (以下, SPPB) と入院関連能力低下 (Hospital-acquired disability: 以下, HAD) との関連を検討することである。【方法】65歳以上の心臓外科手術患者117例 (年齢 73.5 ± 5.4 歳) を対象とした。術前に比して退院時の機能的自立度評価表 (Functional independence measure: 以下, FIM) 下位項目のいずれかひとつでも5点以下となった場合をHAD発症と定義し, SPPBとの関連を調査した。【結果】HAD発症率は20.5%であった。術後歩行自立日数とともに, 術前SPPBはHAD発症の独立した関連因子であり, カットオフ値は10点であった。また, HAD発症群におけるSPPB各ドメインとFIM下位項目に相関を認めた。【結論】高齢心臓外科手術患者における術前SPPBは, HAD発症の関連因子であり, 術後低下が予測されるFIM下位項目をスクリーニングするツールとして活用できる可能性が示唆された。

キーワード 高齢, 心臓外科手術, Short Physical Performance Battery, 日常生活動作, 入院関連能力低下

はじめに

現在, 我が国の65歳以上人口は3,619万人を超え, 高齢化率は28.8%にも達しており, 2025年には30.0%, 2040年には35.3%まで上昇していくと推計されている¹⁾。近年, 手術技術や周術期管理の進歩に伴い, より高齢で併存疾患の多い患者にも手術適応が拡大してきており, 本邦では毎年7万人以上の心臓外科手術が行われ²⁾, 高齢患者の割合も増加してきている³⁾。

心臓外科手術後の急性期リハビリテーション (以下, リハビリ) では, 合併症の予防, 早期に術前の身体機能, および日常生活動作 (Activities of daily living: 以下, ADL) の再獲得を目指すことが重要である⁴⁾。しかし, 高齢患者においては術後リハビリ進行が遅延し, 退院時のADLが術前のADLと比較して低下したまま退院する

患者も少なくない。入院加療に伴うADL低下は, 入院関連能力低下 (Hospital-acquired disability: 以下, HAD) と呼ばれ⁵⁾, 多くの先行研究から, 入院中の高齢患者の20～40%程度⁶⁻⁸⁾, 近年のメタアナリシス⁹⁾では30%に発症することが知られている。また, 先行研究ではHADは高齢入院患者の施設入所率や退院後の死亡率と関連することや^{10) 11)}, 心臓外科手術患者の退院時ADLは, 転帰に独立して影響する重要な予測因子であることが報告されている¹²⁾。このため, 高齢心臓外科手術患者の急性期リハビリにおいては, HADを発症する可能性の高い症例を術前もしくは術後早期の時点から抽出し, 可能な限り早い段階から多面的なリハビリ介入を行う必要があると考えられる。しかし, HAD発症を予測する方法は確立されていないのが現状である。

近年, 高齢者の身体パフォーマンス評価や身体的フレイルのスクリーニングとして Short Physical Performance Battery (以下, SPPB)¹³⁾ が汎用されている。SPPBはバランステスト, 4m歩行テスト, 5回椅子立ち座りテストの3つのドメインで構成されており, 特殊な測定機器を用いずに数分で測定可能である。高齢者を対象として臨床的に使用されている様々な評価指標の信頼性や妥当性, 実現可能性などを比較したシステムティックレビュー¹⁴⁾によると, 78論文で12種の異なる身体パ

* Association between Short Physical Performance Battery and Hospital-acquired Disability in Older Cardiac Surgery Patients

1) 市立札幌病院リハビリテーション科
(〒060-8604 北海道札幌市中央区北11条西13丁目)
Hirokazu Sugiura, PT: Department of Rehabilitation, Sapporo City General Hospital

2) 市立札幌病院心臓血管外科
Junichi Sakata, MD, PhD, Yosuke Yanase, MD, Hirotarou Sugiyama, MD, Masanori Nakamura, MD, PhD: Department of Cardiovascular Surgery, Sapporo City General Hospital

E-mail: hirokazu.sugiura@city.sapporo.jp
(受付日 2022年8月4日/受理日 2022年10月18日)
[J-STAGEでの早期公開日 2022年12月7日]

パフォーマンス評価指標を比較したところ、SPPBが信頼性、妥当性、実現可能性の面から最も推奨される指標であると結論づけている。心臓外科手術患者を対象とした先行研究においても、術前SPPBと術後歩行能力の再獲得や予後との関連が報告されている¹⁵⁾¹⁶⁾。しかし、心臓外科手術患者におけるHAD発症と術前SPPBとの関連は明らかとはなっていない。また、術前SPPBはその合計点のみならず、バランス、4m歩行、5回椅子立ち座りの各ドメインが心臓外科手術患者における予後予測に有用であるとの報告や¹⁷⁾、SPPB各ドメインと「トイレ動作」、「清拭」、「階段」などの各ADL動作との関連性も報告されている¹⁸⁾。そのため、術前SPPB各ドメインとHAD発症により低下が予測されるADL項目との関連を示せば、効果的なリハビリ介入方法を立案するための一助になりうると考えられるが、術前SPPB各ドメインとADL項目との関連を調べた報告はない。そこで我々は、術前SPPBの合計点と各ドメインを用いて、HAD発症ならびに低下するADL項目を予測できるという仮説を立てた。したがって、本研究の目的は、高齢心臓外科手術患者における術前SPPBとHAD発症との関連をSPPB各ドメインとADL低下項目も含めて明らかにすることである。

対象および方法

1. 対象

本研究は単施設後ろ向き観察研究である。2016年11月～2021年1月までの間に当院にて心臓外科手術を施行された65歳以上の高齢患者連続166例を対象とした。除外基準は、1) 術前よりADLが非自立であった症例、2) 緊急手術症例、3) 術後に大動脈内バルーンパンピングや経皮的な心肺補助法を要した症例、4) 院内死亡症例とした。

本研究は「ヘルシンキ宣言」および「人を対象とする医学系研究に関する倫理指針」を遵守し、市立札幌病院倫理委員会の承認（承認番号R02-060-798）を得て実施した。

2. 測定項目

1) 術前患者背景因子

年齢、性別、Body mass index (BMI)、併存疾患、血液生化学検査として、C反応性蛋白 (C-reactive protein : CRP)、血清アルブミン値 (Albumin : 以下、Alb)、血清ヘモグロビン値 (Hemoglobin : 以下、Hb)、血清クレアチニン値 (Creatinine : 以下、Cre)、推定糸球体濾過量 (estimated glomerular filtration rate : 以下、eGFR)、血清ナトリウム値 (Serum sodium : Na)、血清カリウム値 (Serum potassium : K)、経胸壁心エコー図検査による左室拡張末期径 (Left ventricular end-diastolic diameter : LVDd)、左室収縮末期径 (Left ventricular end-systolic diameter : LVDs)、左室駆出率 (Left ventricular ejection fraction : LVEF)、拡張

早期波 (E波) と心房収縮期波 (A波) の比 (以下、E/A比)、呼吸機能検査による%肺活量 (Percent predicted vital capacity : %VC) および1秒率 (Forced expiratory volume in one second : FEV1.0%) を調査した。

2) ADL評価

ADL評価には機能的自立度評価表 (Functional independence measure : 以下、FIM) を用いた。FIMは、食事、整容、清拭、更衣上半身、更衣下半身、トイレ動作、排尿管理、排便管理、ベッド・椅子・車椅子移乗、トイレ移乗、浴槽・シャワー移乗、歩行・車椅子、階段からなる運動項目13項目と、理解、表出、社会的交流、問題解決、記憶からなる認知項目5項目の計18項目を介助量に応じて1点 (全介助) から7点 (完全自立) までの7段階で評価するADL評価方法である。7段階評価のため変化に対する感度が高く、信頼性および妥当性も高いとされている¹⁹⁾。本研究では、FIMでのADL評価を少なくとも4年以上経験している理学療法士が術前および退院時に評価した。

本研究におけるHADの定義は、先行研究に準じて²⁰⁾、術前に比して退院時のFIM下位項目のいずれかひとつでも5点 (介助者による監視・準備を必要とする) 以下となった場合をHAD発症とした。

3) 身体パフォーマンス評価

身体パフォーマンス評価にはSPPBを用いた。SPPBは、バランス、4m歩行、5回椅子立ち座りの3種類のテストを行い、それぞれの結果を4点満点で評価して、その合計得点をSPPB得点 (0～12点) とする評価バッテリーである¹³⁾。バランステストは、まず閉脚立位時間を測定し、10秒未満の場合は0点、10秒保持可能であれば1点とした。閉脚立位時間が10秒保持可能な場合は、次のセミタンデムを実施し、10秒保持できればさらに1点加算した。セミタンデムが10秒保持可能な場合は、次のタンデムを実施し、10秒保持できれば2点加算、3秒から9.99秒できれば1点加算した。4m歩行テストは、快適歩行速度で4mの歩行時間の測定を2回行い、速い方の結果を採択した。4.82秒未満は4点、4.82秒から6.20秒は3点、6.21秒から8.69秒は2点、8.70秒以上は1点、歩行不可は0点とした。5回椅子立ち座りテストは、椅子座位にて胸の前で両腕を組んだ状態から、できるだけ速く立ち座りを5回繰り返し、5回目に立ちあがった状態までの時間を測定した。11.19秒以下は4点、11.20秒から13.69秒は3点、13.70秒から16.69秒は2点、16.70秒から60秒未満は1点、60秒以上もしくは5回完了不可は0点とした。本研究では入院日から手術前日までの間に理学療法士が測定した。

4) 手術関連情報

術式、手術時間、麻酔時間、人工心肺時間、大動脈遮断時間、術中出血量、術中総水分バランス、術後合併症

として、せん妄、脳梗塞、心不全遷延、不整脈、長期人工呼吸器管理、創トラブル発症の有無を調査した。なお、心不全遷延は術後低心拍出症状ならびに肺うっ血症状が遷延し、強心薬使用などの心不全治療を要した場合、不整脈は術後に除細動やペースメーカー植え込み術が必要となる不整脈が新たに出現した場合、長期人工呼吸器管理は術後24時間以上の挿管を伴う人工呼吸器管理となった場合、創トラブルは創感染に伴う抗生剤治療やデブリードマンなどの追加治療を要した場合とそれぞれ定義した。

5) 術後リハビリプログラム

術後リハビリ経過として、手術日から歩行を開始した日数、100 m歩行が自立した日数、術後在院日数、理学療法実施日数、1日あたりの理学療法実施単位数を調査した。なお、100 m歩行自立の定義は、先行研究に準じて²¹⁾、歩行速度や装具および自助具の有無を問わず、医療従事者の監視なしに病棟内を100 m以上連続歩行可能であると理学療法士が判断した場合とした。

すべての患者において、手術翌日から理学療法士が介入してリハビリを開始した。術後プロトコルについては、日本循環器学会の心血管疾患におけるリハビリテーションガイドライン(2012年改訂版)⁴⁾に準拠し、全身状態に応じて手術翌日から端座位、立位、歩行を開始し、徐々に歩行距離を延長、段階的にADLを拡大させた。その後、リハビリ室にて自転車エルゴメーターやトレッドミルを用いた有酸素運動と重錘や自重を用いたレジスタンストレーニングなどの運動療法を実施した。リハビリは週5~6回、1日あたり40~60分程度の介入を退院前日まで実施した。また、術後せん妄の遷延やADL低下例に対する作業療法、術後嚥下機能低下や嚔声などに対する言語聴覚療法は、医師の判断により処方された。

6) 統計学的解析方法

対象を本研究のHAD発症の定義に基づき、HAD群とnon HAD群の2群に分類した。まず、正規性の判定にはShapiro-Wilk検定を行い、2群間の比較には、対応のないt検定、Mann-WhitneyのU検定、カイ2乗検定を行った。

次に、HAD発症の関連因子の検討として、HAD発症を従属変数、2群間の比較にて有意差を認めた因子を独立変数とした多変量ロジスティック回帰分析を行った。多変量解析では、多重共線性を考慮して独立変数間で相関係数の絶対値が0.8以上となった場合は、一方のみの変数を採用して検討を行った。また、多変量解析にて有意に選択された項目に関しては、Receiver operating characteristic (以下、ROC) 解析にて、Area under curve (以下、AUC) および感度、特異度、カットオフ値を算出した。カットオフ値の決定には、Youden index (感度+特異度-1)を用い、Youden indexが最大となる値を採用した。

最後に、術前SPPB各ドメインとADL低下項目との関

連の検討として、HAD群における術前SPPB各ドメインの得点と退院時FIM下位項目の得点についてSpearmanの順位相関係数を用いて検討した。すべての統計解析には、RおよびRコマンドの機能を拡張した統計ソフトウェアであるEZR, version 1.55²²⁾を使用し、有意水準は5%とした。

結 果

1. 解析対象のフローダイアグラム

本研究の解析対象のフローダイアグラムを図1に示す。全対象166例のうち、術前よりADLが非自立であった症例(n=30)、緊急手術症例(n=14)、術後に大動脈内バルーンパンピングや経皮的心肺補助法を要した症例(n=2)、院内死亡症例(n=3)を除外した117例(年齢73.5±5.4歳、男性65%)が解析対象となった。

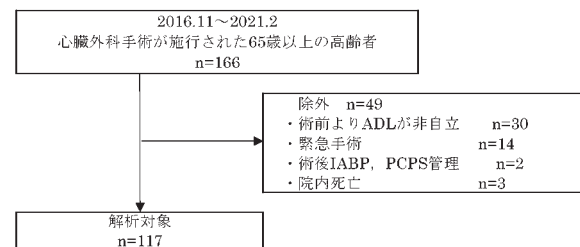


図1 解析対象のフローダイアグラム

ADL: Activities of daily living, IABP: Intra aortic balloon pumping, PCPS: Percutaneous cardiopulmonary support

表1 HAD群におけるFIM低下項目の内訳

項目	n (%)
食事	1 (4.2)
整容	3 (12.5)
清拭	12 (50.0)
更衣上半身	2 (8.3)
更衣下半身	3 (12.5)
トイレ動作	3 (12.5)
排尿管理	1 (4.2)
排便管理	1 (4.2)
ベッド・椅子・車椅子乗車	3 (12.5)
トイレ移乗	3 (12.5)
浴槽・シャワー移乗	9 (37.5)
歩行	4 (16.7)
階段	22 (91.7)
理解	0 (0)
表出	2 (8.3)
社会的交流	2 (8.3)
問題解決	2 (8.3)
記憶	2 (8.3)

HAD発症率は20.5% (24例)であった。24例におけるFIM低下項目の内訳を示す。

HAD: Hospital-acquired disability, FIM: Functional independence measure

2. HAD発症率とFIM低下項目の内訳

HAD発症率は20.5% (24例)であった。HAD群におけるFIM低下項目の内訳を表1に示す。低下した割合の多かった項目は、順に階段、清拭、浴槽・シャワー移乗、歩行であった。

3. 術前患者背景因子、術前SPPB、術前FIMの比較

HAD群はnon HAD群と比較して、術前患者背景因子については、年齢 (76.3±5.6 vs. 72.8±5.1歳, $p=0.005$)、慢性腎臓病の併存率 (83.3 vs. 59.1%, $p=0.032$) が有意に高値であり、Alb (3.7±0.4 vs. 4.0±0.5 g/dL, $p=0.004$)、Hb (11.4±2.1 vs. 12.6±1.9 g/dL, $p=0.012$)、eGFR (39.3±31.0

vs. 52.8±22.7 ml/min/1.73 m², $p=0.017$) が有意に低値であり、術前SPPBについては、合計点および各ドメインすべてが有意に低値であった (すべて $p<0.05$) (表2)。

4. 手術関連情報、術後リハビリ経過、退院時FIMの比較

HAD群はnon HAD群と比較して、人工心肺時間 (213.1±151.9 vs. 125.9±112.5分, $p=0.004$)、大動脈遮断時間 (124.4±80.5 vs. 79.9±88.2分, $p=0.019$)、術中総水分バランス (4099.1±2242.6 vs. 3104.3±1640.7 ml, $p=0.016$)、術後せん妄発症率 (58.3 vs. 18.3%, $p<0.001$)、長期人工呼吸器管理率 (29.2 vs. 8.6%, $p=0.014$) が有意に高値であった。また、術後リハビリ経過については、歩行開始日数 (1.7

表2 術前患者背景因子、術前SPPB、術前FIMの比較

	全体 (n=117)	non HAD群 (n=93)	HAD群 (n=24)	p 値
年齢(歳)	73.5±5.4	72.8±5.1	76.3±5.6	0.005
男性 n (%)	76 (65.0)	62 (66.7)	14 (58.3)	0.097
BMI (kg/m ²)	23.5±3.1	23.5±3.1	23.6±3.1	0.931
併存疾患 n (%)				
高血圧症	89 (76.1)	70 (75.3)	19 (79.2)	0.794
脂質異常症	57 (48.7)	46 (49.5)	11 (45.8)	0.821
糖尿病	79 (67.5)	60 (64.5)	19 (79.2)	0.224
慢性腎臓病	75 (64.1)	55 (59.1)	20 (83.3)	0.032
慢性心不全	35 (30.0)	21 (22.6)	4 (16.7)	0.780
慢性閉塞性肺疾患	8 (6.8)	7 (7.5)	1 (4.2)	1.000
脳血管疾患	25 (21.4)	18 (19.4)	7 (29.2)	0.401
血液生化学検査				
CRP (mg/dL)	0.5±1.4	0.5±1.5	0.5±1.0	0.959
Alb (g/dL)	4.0±0.5	4.0±0.5	3.7±0.4	0.004
Hb (g/dL)	12.3±2.0	12.6±1.9	11.4±2.1	0.012
Cre (mg/dL)	1.8±3.0	1.6±2.3	1.9±3.6	0.060
eGFR (ml/min/1.73 m ²)	50.1±25.1	52.8±22.7	39.3±31.0	0.017
Na (mEq/L)	140.9±2.9	140.8±2.6	140.9±3.2	0.914
K (mEq/L)	4.2±0.4	4.3±0.4	4.1±0.5	0.164
経胸壁心エコー図検査				
LVDd (mm)	46.7±7.8	47.0±7.6	45.7±8.7	0.462
LVDs (mm)	30.1±7.5	30.7±7.3	28.0±8.2	0.130
LVEF (%)	64.0±11.7	63.0±11.8	67.8±10.7	0.076
E/A	0.9±0.6	0.9±0.6	0.8±0.4	0.353
呼吸機能検査				
%VC (%)	93.2±15.0	94.1±14.4	89.6±17.3	0.202
FEV1.0% (%)	75.6±7.7	75.8±8.0	74.9±6.7	0.622
術前SPPB(点)				
合計	11 [10-12]	12 [10-12]	9 [8-11]	<0.001
バランス	4 [3-4]	4 [4-4]	3 [2-4]	<0.001
4 m 歩行	4 [3-4]	4 [3-4]	3 [3-4]	0.002
5回椅子立ち座り	4 [3-4]	4 [4-4]	3 [3-4]	0.005
術前FIM(点)	126 [125-126]	126 [125-126]	126 [123-126]	0.615

平均値±標準偏差、中央値 [四分位範囲]

SPPB: Short Physical Performance Battery, FIM: Functional independence measure, BMI: Body mass index, CRP: C-reactive protein, Alb: Albumin, Hb: Hemoglobin, Cre: Creatinine, eGFR: estimated glomerular filtration rate, Na: Serum sodium, K: Serum potassium, LVDd: Left ventricular end-diastolic diameter, LVDs: Left ventricular end-systolic diameter, LVEF: Left ventricular ejection fraction, E/A: 拡張早期波 (E波) と心房収縮期波 (A波) の比, %VC: Percent predicted vital capacity, %FEV1.0%: Forced expiratory volume in one second

表3 手術関連情報、術後リハビリ経過、退院時FIMの比較

	全体 (n=117)	non HAD群 (n=93)	HAD群 (n=24)	p 値
術式 n (%)				0.107
単独CABG	42 (35.9)	38 (40.9)	4 (16.7)	
単弁手術	31 (26.5)	21 (22.6)	10 (41.6)	
複弁手術	20 (17.1)	14 (15.1)	6 (25.0)	
CABG+弁手術	6 (5.1)	6 (6.5)	0 (0)	
その他	18 (15.4)	14 (15.4)	4 (16.7)	
手術時間(分)	418.6±128.7	411.5±121.7	446.4±152.5	0.237
麻酔時間(分)	503.2±136.6	496.8±131.1	528.3±156.4	0.316
人工心肺時間(分)	143.9±135.1	125.9±112.5	213.1±151.9	0.004
大動脈遮断時間(分)	89.0±83.3	79.9±88.2	124.4±80.5	0.019
術中出血量 (ml)	3001.1±1803.8	2840.0±1746.2	3625.4±1923.8	0.057
術中総水分バランス (ml)	3308.3±1815.2	3104.3±1640.7	4099.1±2242.6	0.016
術後合併症 n (%)				
せん妄	31 (26.5)	17 (18.3)	14 (58.3)	<0.001
脳梗塞	1 (0.9)	0 (0)	1 (4.2)	0.205
心不全遷延	9 (7.7)	5 (5.4)	4 (16.7)	0.084
不整脈	27 (23.1)	19 (20.4)	8 (33.3)	0.186
長期人工呼吸器管理	15 (12.8)	8 (8.6)	7 (29.2)	0.014
創トラブル	5 (4.3)	3 (3.2)	2 (8.3)	0.272
術後リハビリ経過(日)				
歩行開始日数	1.3±0.7	1.3±0.7	1.7±1.0	0.016
歩行自立日数	5.3±2.8	4.6±1.7	8.0±4.3	<0.001
術後在院日数	21.3±8.0	20.9±8.0	23.0±8.3	0.259
理学療法実施日数(日)	17.7±7.0	17.3±6.1	19.4±9.9	0.200
1日あたりの理学療法実施単位数(単位)	1.8±0.4	1.8±0.3	1.9±0.4	0.089
退院時FIM(点)	125 [123-126]	126 [125-126]	118 [107-122]	<0.001

平均値±標準偏差, 中央値 [四分位範囲]

FIM: Functional independence measure, HAD: Hospital-acquired disability, SPPB: Short Physical Performance Battery, CABG: Coronary artery bypass grafting

±1.0 vs. 1.3±0.7 日, $p=0.016$), 歩行自立日数 (8.0 ± 4.3 vs. 4.6 ± 1.7 日, $p<0.001$) が有意に遅延しており, 退院時 FIM は有意に低値 [118 (107-122)] vs. 126 (125-126) 点, $p<0.001$] であった (表3)。

作業療法介入率は, HAD 群が12.5%, non HAD 群が6.5%, 言語聴覚療法介入率は, HAD 群が17.6%, non HAD 群が10.8%とHAD群は高い傾向にあったが, 統計学的有意差は認めなかった。

5. HAD発症を従属変数とした多変量ロジスティック回帰分析の結果

多変量解析に先立ち, 各因子の相関を検討したところ, eGFRと慢性腎臓病の併存, 人工心肺時間と大動脈遮断時間には相関係数0.8以上の相関を認めた。そのため, 先行研究²³⁾において術後リハビリ進行との関連が報告されているeGFRと人工心肺時間がHAD発症に影響すると想定し, 独立変数として投入した。

HAD発症を従属変数, 年齢, Alb, Hb, eGFR, 術前SPPB合計, 人工心肺時間, 術中総水分バランス, 術後せん妄, 術後長期人工呼吸器管理, 術後歩行開始日数,

術後歩行自立日数を独立変数とした多変量ロジスティック回帰分析の結果, 術前SPPB合計 (OR: 0.741, 95%CI: 0.522-0.890, $p=0.041$) と術後歩行自立日数 (OR: 1.400, 95%CI: 1.050-1.860, $p=0.024$) が独立した関連因子として抽出された (表4)。

6. ROC解析の結果

多変量ロジスティック回帰分析にて有意な関連を認めた術前SPPB合計と術後歩行自立日数のROC解析の結果を図2に示す。術前SPPB合計のAUCは0.754 (95%CI: 0.650-0.859), カットオフ値は10点 (感度: 87.5%, 特異度: 53.8%), 術後歩行自立日数のAUCは0.784 (95%CI: 0.678-0.891), カットオフ値は6日 (感度: 65.2%, 特異度: 77.4%) であった。

7. 術前SPPB合計のカットオフ値で群分けしたHAD発症率の比較

ROC解析にて算出された術前SPPB合計のカットオフ値に基づいて, 解析対象を術前SPPB合計が10点未満 (SPPB<10群) と術前SPPB合計が10点以上 (SPPB

表4 HAD発症を従属変数とした多変量ロジスティック回帰分析の結果

	OR	95%CI	p値
年齢 (1歳増加)	1.110	0.981-1.250	0.098
Alb (1 g/dL増加)	0.810	0.148-4.440	0.808
Hb (1 g/dL)	0.812	0.571-1.150	0.247
eGFR (1 ml/min/1.73 m ² 増加)	0.992	0.967-1.020	0.561
術前SPPB合計 (1点増加)	0.741	0.522-0.890	0.041
人工心肺時間 (1分増加)	1.000	0.989-1.010	0.905
術中総水分バランス (1 ml増加)	1.000	1.000-1.000	0.236
術後せん妄 (無=0, 有=1)	2.630	0.717-9.660	0.145
術後長期人工呼吸器管理 (無=0, 有=1)	0.671	0.067-6.710	0.734
術後歩行開始日数 (1日増加)	1.120	0.399-3.160	0.825
術後歩行自立日数 (1日増加)	1.400	1.050-1.860	0.024

従属変数: HAD発症 (無=0, 有=1)

HAD: Hospital-acquired disability, OR: Odds ratio, CI: Confidence interval, Alb: Albumin, Hb: Hemoglobin, eGFR: estimated glomerular filtration rate, SPPB: Short Physical Performance Battery

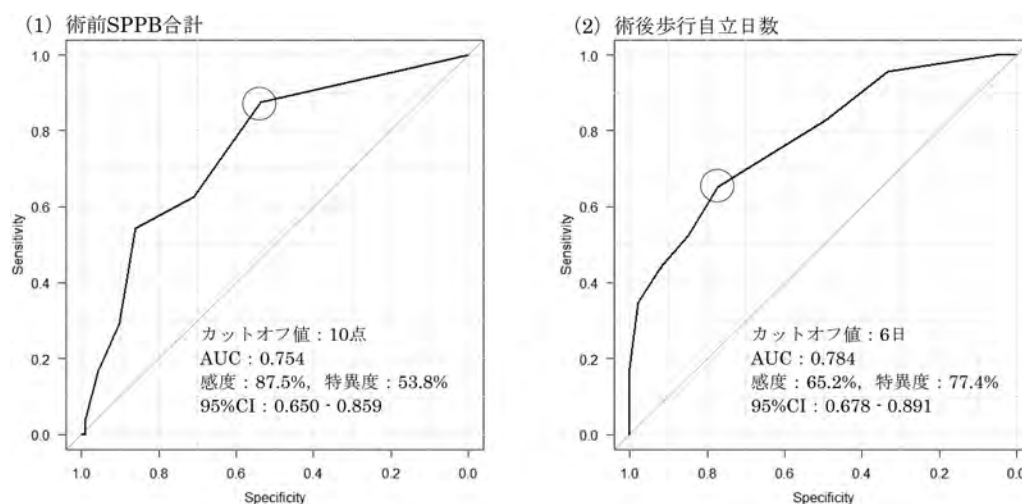


図2 HAD発症のROC解析

(1)術前SPPB合計とHAD発症, (2)術後歩行自立日数とHAD発症のROC解析結果を示す.

HAD: Hospital-acquired disability, SPPB: Short Physical Performance Battery, ROC: Receiver operating characteristic, AUC: Area under curve, CI: Confidence interval

≥10群)の2群に分類してHAD発症率を比較した結果, SPPB<10群はSPPB≥10群と比較して, HAD発症率が有意に高値であった (12.1 vs. 50.0%, $p<0.001$)。

8. HAD群における術前SPPB各ドメインと退院時FIM下位項目との関連関係

HAD群における術前SPPB各ドメインの得点と退院時FIM下位項目の得点についてSpearmanの順位相関係数を用いて検討した結果を表5に示す。バランステストと相関が認められた項目は, 清拭 ($rs=0.455$), 浴槽・シャワー移乗 ($rs=0.519$), 歩行 ($rs=0.435$), 階段 ($rs=0.455$)であった (すべて $p<0.05$)。4m歩行テストと相関が認められた項目は, 浴槽・シャワー移乗 ($rs=0.556$), 歩行 ($rs=0.417$), 階段 ($rs=0.420$)であった (すべて $p<0.05$)。5回椅子立ち座りテストと相関が認められた項目は, 整

容 ($rs=0.418$), 清拭 ($rs=0.417$), 更衣 (上半身) ($rs=0.417$), 更衣 (下半身) ($rs=0.484$), 浴槽・シャワー移乗 ($rs=0.431$), 歩行 ($rs=0.396$), 階段 ($rs=0.567$) (すべて $p<0.05$)であった。

考 察

本研究の主要な結果は, 1) 高齢心臓外科手術患者におけるHAD発症率は20.5%であったこと, 2) 術前SPPB合計はHAD発症の独立した関連因子であり, カットオフ値は10点であったこと, 3) 術前SPPB各ドメインとFIM下位項目との関連に関しては, バランステストは, 清拭, 浴槽・シャワー移乗, 歩行, 階段と有意な相関を, 4m歩行テストは, 浴槽・シャワー移乗, 歩行, 階段と有意な相関を, 5回椅子立ち座りテストは, 整容, 清拭, 更衣 (上半身), 更衣 (下半身), 浴槽・シャワー

表5 術前SPPB各ドメインと退院時FIM下位項目との相関

	バランス		4 m 歩行		5回椅子立ち座り	
	rs	p 値	rs	p 値	rs	p 値
食事	-0.069	0.750	-0.008	0.970	0.087	0.688
整容	0.135	0.528	0.149	0.488	0.418	0.042
清拭	0.455	0.025	0.361	0.083	0.396	0.049
更衣上半身	0.179	0.402	0.065	0.763	0.417	0.043
更衣下半身	0.228	0.283	0.155	0.469	0.484	0.017
トイレ動作	0.105	0.625	0.153	0.474	0.362	0.082
排尿管理	-0.059	0.786	-0.103	0.633	-0.118	0.583
排便管理	0.089	0.678	-0.059	0.784	0.056	0.797
ベッド・椅子・車椅子移乗	0.105	0.625	0.059	0.784	0.241	0.256
トイレ移乗	0.105	0.625	0.059	0.784	0.241	0.256
浴槽・シャワー移乗	0.519	0.009	0.556	0.005	0.431	0.036
歩行	0.435	0.036	0.417	0.043	0.396	0.049
階段	0.445	0.023	0.420	0.037	0.567	0.004
理解	0.032	0.884	-0.103	0.631	-0.128	0.553
表出	0.032	0.883	-0.090	0.674	-0.113	0.598
社会的交流	-0.298	0.157	0.024	0.911	0.178	0.404
問題解決	-0.122	0.570	0.065	0.764	0.049	0.820
記憶	-0.185	0.386	0.046	0.833	0.086	0.695

SPPB: Short Physical Performance Battery, FIM: Functional independence measure, rs: Spearman の順位相関係数

移乗, 歩行, 階段と有意な相関を認めたことである。

1. HAD 発症率について

本研究の結果, 高齡心臓外科手術患者におけるHAD発症率は20.5%であった。先行研究において, Honda ら²⁰⁾は, 術前から退院時にかけてFIM下位項目のいずれかひとつでも5点以下となった場合をHADと定義し, 心臓外科手術患者のHAD発症率を調査したところ, HAD発症率は18.1%であったと報告している。本研究においてもほぼ同等であり, 結果は妥当であったと考えられる。

2. HAD 発症の関連因子について

高齡心臓外科手術患者におけるHAD発症の関連因子を検討するために, 多変量ロジスティック回帰分析を行った結果, HAD発症の独立した関連因子は, 術前SPPB合計と術後歩行自立日数であることが明らかとなった。単変量解析において有意な関連を認めた年齢²³⁾, Alb²⁴⁾, Hb²³⁾, eGFR²³⁾といった術前背景因子, 人工心肺時間²³⁾, 術中総水分バランス²⁵⁾, 術後せん妄²⁶⁾, 術後長期人工呼吸器管理²⁷⁾といった手術関連情報は, いずれも術後リハビリ進行, ADLなどに影響することが報告されており, 先行研究で報告されている臨床背景因子の特徴と合致していた。しかし, 多変量解析では術前SPPB合計と術後歩行自立日数のみが有意な因子として抽出された。

先行研究において, Honda ら²⁰⁾は, 心臓外科手術患者のHAD発症の関連因子について検討し, 多変量解析の結果, 年齢や性別, 併存疾患などは有意な因子として抽出されず, 歩行速度などが有意な因子であったと報告している。また, Guralnik ら²⁸⁾は, 地域在住高齢者を対象にSPPBを測定し, その合計点は年齢, 性別, 背景疾患などで調整した上でも, 将来的なADLの低下に強く関連したと報告している。これらの先行研究から, 身体機能はADLに強く関連する因子であることが示唆されている。そのため, 本研究においても様々な臨床背景因子もさることながら, 術前SPPB合計がHAD発症に関わる強力な因子として抽出されたものと考えられた。Baldasseroni ら²⁹⁾によると, 高齡心臓外科手術患者における術前SPPBは, 術後死亡率や主要合併症発生の予測因子であることが報告されているが, HAD発症の予測因子にもなりうる可能性を示したことが本研究の新規性と考ええる。

さらに, 高齡心臓外科手術患者におけるHAD発症リスクを予測するために, ROC解析にてカットオフ値を算出した結果, 術前SPPB合計のカットオフ値は10点であることが示され, SPPB<10群はSPPB≥10群と比較して, HAD発症率が有意に高値であることが明らかとなった。先行研究において, Yuguchi ら¹⁵⁾は, 65歳以上の高齡心臓外科手術患者の術後歩行再獲得が可能な術前SPPBのカットオフ値は9点であったこと, Vasunilashorn ら³⁰⁾は, 65歳以上の地域在住高齢者の3年以内の歩行

困難を予測するSPPBのカットオフ値は9点であったことを報告している。また、Kitaiら³¹⁾は、65歳以上の心不全患者において、SPPB7点未満が退院後1年以内の全死亡と心不全再入院の独立した危険因子であると報告している。本研究のカットオフ値は、これらの歩行をアウトカムとした報告や退院後の予後をアウトカムとした報告よりも高い点数であった。本研究のFIM低下項目の内訳をみると、HAD発症24例のうち歩行が低下したのは4例(16.7%)のみであり、階段22例(91.7%)、清拭12例(50.0%)、浴槽・シャワー移乗9例(37.5%)と、歩行よりも高い割合で低下している項目が存在した。そのため、歩行能力に限局せず、退院までの短期間でのADL能力全般を維持するためには、さらに高いSPPB得点が必要である可能性が示唆された。

本研究結果において、HAD発症を予測する術前SPPBのカットオフ値を示されたことは、HADを発症する可能性の高い症例を術前の時点から抽出し、可及的早期から多面的なりハビリ介入を進めていく上でも、臨床的意義のあるものと考ええる。

本研究では、術前SPPB合計とともに、術後歩行自立日数もHAD発症の独立した関連因子であり、そのカットオフ値は6日であることが示された。HADは院内での活動量低下の結果として認められるため⁵⁾、術後歩行自立日数の遅延は、院内での活動量低下を招き、HAD発症に関連したと考えられた。国内の多施設調査結果より、現在は術翌日から立位および歩行を開始し、術後4日目に歩行自立を目指すプログラムが標準とされているが⁴⁾、本研究で示されたカットオフ値は、標準的な術後歩行自立日数よりも遅延していた。前述の通り、FIM低下項目の内訳をみると、歩行よりも高い割合で低下している項目が存在していることから、ADL能力全般を維持する点では、術後6日目を目安として歩行自立を目指すことが重要であると考えられた。

3. HAD群における術前SPPB各ドメインと退院時FIM下位項目との関連について

術前SPPB各ドメインとADL低下項目との関連を明らかにするために、HAD群における術前SPPB各ドメインの得点と退院時FIM下位項目の得点についてSpearmanの順位相関係数を用いて検討を行った。

バランステストであるセミタンデム、タンデム立位保持は側方バランス能力を反映しており、閉脚立位保持に比べ高い立位バランス機能が必要になる³²⁾。本研究では、清拭、浴槽・シャワー移乗、歩行、階段と有意な相関を認めた。これらのFIM下位項目は難易度が高く³³⁾、より高度な立位バランス機能が必要であることが要因であると考ええる。また、水で濡れた状態で動作を遂行する清拭、浴槽・シャワー移乗³⁴⁾、歩行³⁵⁾や階段昇降能

力³⁶⁾は、バランス機能が関連することが報告されており、本研究結果は先行研究を支持したものと考ええる。

4m歩行テストの指標である快適歩行速度は、ADL自立度との関連が報告されている³⁷⁾。また、歩行は2本の下肢を用いて体を支えながら重心を前方に移動させる方法であり、力学的に常に不安定な状態で多くの関節運動を制御して動的安定性を保たなければならない複雑な運動である³⁸⁾。そのため、前述の通り難易度の高い、浴槽・シャワー移乗、歩行、階段と相関を認めたものと考ええる。

術前SPPBドメインのうち、5回椅子立ち座りテストは、最も多くのFIM下位項目との相関を示した。立ち上がり動作は日常生活において繰り返し行われる動作の一つであり、この動作が障害された場合では、ADLの自立度を大きく妨げることになる³⁹⁾。また、5回椅子立ち座りテストは、瞬発的に筋力を発揮する能力である筋パワーの代表的なテストのひとつである⁴⁰⁾。近年では、筋力だけではなく、筋パワーがADLと関連することが報告されている⁴¹⁾⁴²⁾。本研究においても、難易度が比較的低いとされるFIM下位項目³²⁾とも関連が示されており、5回椅子立ち座りテストは、様々なADL動作と密接な関わりがあることが示唆された。介護付き老人ホーム在住の高齢者におけるSPPBとFIMとの関連性を検討した先行研究¹⁸⁾では、5回椅子立ち座りテストが最も多くのFIM下位項目との相関関係を示したと報告しており、本研究結果は先行研究を支持したものと考ええる。

以上のことから、術前SPPBは合計点のみではなく、各ドメインから術後低下が予測されるADL項目をスクリーニングするツールとして活用できる可能性が示唆された。例えば、バランステストで減点があれば、清拭、浴槽・シャワー移乗、歩行、階段が術後に低下する危険性が高いため、術前もしくは術後早期の段階からADL低下を予防するための重点的な介入や社会資源の導入および生活環境の調整などを行うことが可能であると考ええる。これまで高齢心臓外科手術患者を対象として、術前SPPB各ドメインとFIM下位項目との関連を検討した報告はなく、これらを明らかにした点も本研究の新規性である。

4. 本研究の限界

本研究の限界として、まず、サンプルサイズの小さい単施設での検討であることが挙げられる。次に、術前よりADLが非自立であった症例や術後に大動脈内バルーンパンピングや経皮的心肺補助法を要した症例を除外しており、解析対象者は、病態が安定している比較的軽症例の可能性があり、これらが結果に一部影響している可能性がある。最後に、本研究は後ろ向き研究のため、運動療法やADL動作練習内容が統一されていない。術後

プロトコルについては、日本循環器学会の心血管疾患におけるリハビリテーションガイドライン（2012年改訂版）⁴⁾に準拠したが、個別的なADL動作練習などは、各理学療法士の判断で行っていたため、これらも結果に影響している可能性がある。そのため、前向き研究での介入方法を統一した検討などが今後必要であると考ええる。

結 論

高齡心臓外科手術患者における術前SPPBは、HAD発症の独立した関連因子であり、そのカットオフ値は10点であることが明らかとなった。また、術前SPPB各ドメインとADL項目との具体的な関連を示すことができ、高齡心臓外科手術患者のHAD予防に向けた適切な介入をするための一助になりうる可能性が示唆された。

利 益 相 反

本研究に関連し、開示すべき利益相反はない。

文 献

- 1) 内閣府ホームページ. 令和3年版高齢社会白書（全体版）. https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2021/zenbun/pdf/1s1s_01.pdf (2022年5月2日引用)
- 2) Shimizu H, Okada M, *et al.*: Committee for Scientific Affairs, The Japanese Association for Thoracic Surgery: Thoracic and cardiovascular surgeries in Japan during 2017: Annual report by the Japanese Association for Thoracic Surgery. *Gen Thorac Cardiovasc Surg.* 2020; 68: 414–449.
- 3) Porizka M, Kunstyr J, *et al.*: Postoperative outcome of high-risk octogenarians undergoing cardiac surgery: A multicenter observational retrospective study. *Ann Thorac Cardiovasc Surg.* 2017; 23: 188–195.
- 4) 日本循環器学会：心血管疾患におけるリハビリテーションに関するガイドライン（2012年改訂版）. https://www.jacr.jp/pdf/JCS2012_nohara_d_2015.01.14.pdf (2022年5月2日引用)
- 5) Covinsky KE, Pierluissi E, *et al.*: Hospitalization-associated disability: “She was probably able to ambulate, but I’m not sure”. *JAMA.* 2011; 306: 1782–1793.
- 6) Zelada MA, Salinas R, *et al.*: Reduction of functional deterioration during hospitalization in an acute geriatric unit. *Arch Gerontol Geriatr.* 2009; 48: 35–39.
- 7) Covinsky KE, Palmer RM, *et al.*: Loss of independence in activities of daily living in older adults hospitalized with medical illnesses: increased vulnerability with age. *J Am Geriatr Soc.* 2003; 51: 451–458.
- 8) Zisberg A, Shadmi E, *et al.*: Hospital-associated functional decline: the role of hospitalization processes beyond individual risk factors. *J Am Geriatr Soc.* 2015; 63: 55–62.
- 9) Loyd C, Markland AD, *et al.*: Prevalence of hospital-associated disability in older adults: A meta-analysis. *J Am Med Dir Assoc.* 2020; 21: 455–461.
- 10) Fortinsky RH, Covinsky KE, *et al.*: Effects of functional status changes before and during hospitalization on nursing home admission of older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 1999; 54: M521–M526.
- 11) Barnes DE, Mehta KM, *et al.*: Prediction of recovery, dependence or death in elders who become disabled during hospitalization. *J Gen Intern Med.* 2013; 28: 261–268.
- 12) 笹沼直樹, 高橋敬子, 他：心大血管リハビリテーション対象患者における自宅退院の予測因子の検討—内科および外科症例のADLスコアに着目して—. *心臓リハビリテーション*. 2016; 22: 149–156.
- 13) Guralnik JM, Simonsick EM, *et al.*: A short physical performance battery assessing lower extremity function: Association with self-reported disability and prediction of mortality and nursing home admission. *J Gerontol.* 1994; 49: M85–M94.
- 14) Freiburger E, Vreede PD, *et al.*: Performance-based physical function in older community-dwelling persons: A systematic review of instruments. *Age Ageing.* 2012; 41: 712–721.
- 15) Yuguchi S, Saitoh M, *et al.*: Impact of preoperative frailty on regaining walking ability in patients after cardiac surgery: Multicenter cohort study in Japan. *Arch Gerontol Geriatr.* 2019; 83: 204–210.
- 16) Afilalo J, Lauck S, *et al.*: Frailty in older adults undergoing aortic valve replacement: The FRAILTY-AVR study. *J Am Coll Cardiol.* 2017; 70: 689–700.
- 17) Han P, Yu H, *et al.*: Preoperative Short Physical Performance Battery as a predictor of prolonged hospitalization after coronary artery bypass grafting in older patients. *J Int Med Res.* 2021; 49: 3000605211044043.
- 18) 河野英美, 葛島見帆, 他：介護付き老人ホーム在住の高齢者におけるShort Physical Performance Battery (SPPB) 評価と機能的自立度評価法 (FIM) との関連性の検討. *理学療法東京*. 2015; 3: 20–25.
- 19) 里宇明元：3 機能的自立度評価表 (FIM). 「脳卒中患者の機能評価 SIASとFIMの実際」. 千野直一(編), シュプリンガー・ジャパン, 東京, 1997, pp. 41–96.
- 20) Honda Y, Takahashi K, *et al.*: Predictors of functional decline in activities of daily living at discharge in patients after cardiovascular surgery. *Circ J.* 2021; 85: 1020–1026.
- 21) 澁川武志, 上坂健太, 他：80歳以上の高齢者における心大血管手術後100 m歩行自立阻害因子の検討. *理学療法学*. 2015; 42: 487–493.
- 22) Kanda Y: Investigation of the freely available easy-to-use software ‘EZR’ for medical statistics. *Bone Marrow Transplant.* 2013; 48: 452–458.
- 23) 森沢知之, 湯口 聡, 他：心臓外科手術後リハビリテーション遅延の特徴—多施設による検討. *総合リハビリテーション*. 2015; 43: 459–464.
- 24) Rich MW, Keller AJ, *et al.*: Increased complications and prolonged hospital stay in elderly cardiac surgical patients with low serum albumin. *Am J Cardiol.* 1989; 63: 714–718.
- 25) Saitoh M, Takahashi T, *et al.*: Factors determining achievement of early postoperative cardiac rehabilitation goal in patients with or without preoperative kidney dysfunction undergoing isolated cardiac surgery. *J Cardiol.* 2013; 61: 299–303.
- 26) Inouye SK, Rushing JT, *et al.*: Does delirium contribute to poor hospital outcomes? A three-site epidemiologic study. *J Gen Intern Med.* 1998; 13: 234–242.
- 27) 湯口 聡, 森沢知之, 他：心臓外科手術後の100 m歩行自立日は術前情報や手術情報から予測可能か？. *理学療法ジャーナル*. 2014; 48: 989–994.
- 28) Guralnik JM, Ferrucci L, *et al.*: Lower-extremity function in persons over the age of 70 years as a predictor of subsequent disability. *N Engl J Med.* 1995; 332: 556–561.
- 29) Baldasseroni S, Pratesi A, *et al.*: Italian Society of Geriatric Cardiology (SICGe): Pre-operative physical performance as a predictor of in-hospital outcomes in older patients undergoing elective cardiac surgery. *Eur J Intern Med.* 2021; 84: 80–87.
- 30) Vasunilashorn S, Coppin AK, *et al.*: Use of the Short Physical Performance Battery Score to predict loss of ability to walk 400 meters: Analysis from the InCHIANTI study. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2009; 64: 223–229.
- 31) Kitai T, Shimogai T, *et al.*: Short physical performance battery

- vs. 6-minute walking test in hospitalized elderly patients with heart failure. *Eur Heart J Open*. 2021; 16: oeab006.
- 32) Stel VS, Smit JH, *et al.*: Balance and mobility performance as treatable risk factors for recurrent falling in older persons. *J Clin Epidemiol*. 2003; 56: 659–668.
- 33) 辻 哲也, 園田 茂, 他: 入院・退院時における脳血管障害患者のADL構造の分析. *リハビリテーション医学*. 1996; 33: 301–309.
- 34) 高木大輔: 「日常生活活動」をみる⑦—入浴—. *理学療法ジャーナル*. 2019; 53: 1126–1131.
- 35) 猪飼哲夫, 辰濃 尚, 他: 歩行能力とバランス機能の関係. *リハビリテーション医学*. 2006; 43: 828–833.
- 36) 河野英美, 藤谷順子, 他: 階段昇降能力に影響を及ぼす運動能力の検討. *総合リハビリテーション*. 2018; 46: 1197–1203.
- 37) Potter JM, Evans AL, *et al.*: Gait speed and activities of daily living function in geriatric patients. *Arch Phys Med Rehabil*. 1995; 76: 997–999.
- 38) 大畑光司: 正常・異常歩行の運動学. *Jpn J Rehabil Med*. 2021; 58: 121–127.
- 39) 杉原敏道, 三島誠一, 他: 高齢者の起立動作能力と排泄の自立度について. *理学療法科学*. 2007; 22: 89–92.
- 40) 池添冬芽: 加齢に伴う運動機能の変化. *理学療法学*. 2021; 48: 446–452.
- 41) Foldvari F, Clark M, *et al.*: Association of muscle power with functional status in community-dwelling elderly women. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2000; 55: M192–M199.
- 42) 慎 少帥, 藤井啓介, 他: 要支援・要介護高齢者を対象とした椅子立ち上がり時の床反力と下肢筋力, 日常生活動作能力との関連性. *理学療法科学*. 2017; 32: 881–887.

〈Abstract〉

Association between Short Physical Performance Battery and Hospital-acquired Disability in Older Cardiac Surgery Patients

Hirokazu SUGIURA, PT

Department of Rehabilitation, Sapporo City General Hospital

Junichi SAKATA, MD, PhD, Yosuke YANASE, MD, Hirotarou SUGIYAMA, MD, Masanori NAKAMURA, MD, PhD

Department of Cardiovascular Surgery, Sapporo City General Hospital

Objective: The purpose of this study was to examine the association between the Short Physical Performance Battery (SPPB) and Hospital-acquired disability (HAD) in older patients who underwent cardiac surgery.

Methods: This study included 117 patients aged ≥ 65 (73.5 ± 5.4) years who underwent cardiac surgery. The development of HAD was defined as a score of ≤ 5 on any one of the subitems of the Functional independence measure (FIM) at the time of hospital discharge compared to the preoperative level, and the association with SPPB was investigated.

Results: The incidence of HAD was 20.5%. Preoperative SPPB was an independent predictor of HAD, as were the number of days of walking independently postoperatively, with a cutoff value of 10 points. Furthermore, each SPPB domain was correlated with FIM subitems in the HAD group.

Conclusion: The preoperative SPPB in older patients who underwent cardiac surgery is a factor associated with the development of HAD, suggesting that it may be used as a tool to screen FIM subitems that are predicted to decline postoperatively.

Key Words: Older, Cardiac surgery, Short Physical Performance Battery, Activities of daily living, Hospital-acquired disability

研究論文 (原著)

脊髄損傷領域における観察的歩行評価* —Spinal Cord Injury Functional Ambulation Inventory (SCI-FAI) の 日本語版作成と信頼性の検討—

草野 凌^{1)2)#} 吉川 憲一²⁾ 宮田 一弘³⁾ Neil David Parry⁴⁾ 石本 立⁵⁾
古関 一則²⁾ 富田 洋介⁶⁾ 佐野 歩²⁾ 矢吹 惇²⁾ 水上 昌文³⁾

要旨

【目的】Spinal Cord Injury Functional Ambulation Inventory (以下, SCI-FAI) を翻訳し, 信頼性を検討した。【方法】国際基準に準じてSCI-FAIを日本語へ翻訳した。不全脊髄損傷者34名を対象とした。評価者2名が動画上でSCI-FAI評価を2回実施した。級内相関係数, Cronbachの α 係数, Weighted K係数, Bland-Altman分析を用いて信頼性を確認した。【結果】検者内信頼性Intraclass Correlation Coefficients (以下, ICC) (1, 1)は0.928～0.973, α 係数0.967～0.986, K係数は0.713～1.00, 1名の評価者に固定誤差・比例誤差が確認された。検者間信頼性ICC(2, 1)は0.848, α 係数は0.916, K係数は0.349～0.899, 固定誤差, 比例誤差は確認されなかった。【結論】日本語版SCI-FAIは本邦の臨床設定において信頼性を有する評価であることが確認された。
キーワード Spinal Cord Injury Functional Ambulation Inventory (SCI-FAI), 脊髄損傷, 観察的歩行評価, 信頼性

はじめに

本邦における外傷性脊髄損傷の発生は100万人あたり49名と報告されている¹⁾。1992年²⁾と2018年¹⁾の報告を比較すると, 受傷時平均年齢の高齢化, 転倒・低所転落など低エネルギー型損傷の増加, 完全脊髄損傷者が減少し不全脊髄損傷者の増加傾向が窺える。脊髄損傷

者の予後は国際標準評価であるInternational Standard for Neurological Classification of Spinal Cord Injury 内の脊髄障害重症度を示すAmerican Spinal Cord Injury Association Impairment Scale (以下, AIS) で報告されている。受傷後15日以内の急性期でAIS grade: B, C, Dの者は半年～1年後に約35から85%がAIS grade: Dへ回復した³⁾。AIS grade: Dは歩行獲得が見込めるレベルであり, 多くの不全脊髄損傷者が歩行獲得をリハビリテーションの主要な目的とする中で歩行評価の重要性は高い。臨床では10 Meter Walk Test, 6 Minute Walk Test (以下, 6MWT), Timed Up and Go testが最も確立された量的歩行評価として用いられているが, これらの量的歩行評価は歩行速度に直接反映しない歩行障害の根底にある下肢の異常な運動を評価することは難しいと考えられている⁴⁾。歩行中の下肢機能の異常を示す評価として, 三次元動作解析や表面筋電図, 床反力計などの計測が行われ, 三次元動作解析が脊髄損傷者の歩行評価のGold Standardと位置付けられている⁴⁾。しかし, これら三次元動作解析装置を用いた評価には高額な設備, 高度なコンピューターアルゴリズム, 訓練された検査者が必要とされ, 臨床研究では二次的・探索的な評価としての使用に留まっている⁴⁾。三次元動作解析装置を用いることが困難な臨床設

* Translation and Reliability of the Japanese Version of the Spinal Cord Injury Functional Ambulation Inventory (SCI-FAI)

1) 茨城県立医療大学大学院保健医療科学研究科保健医療科学専攻 (〒300-0331 茨城県稲敷郡阿見町4733)
Shinogu Kusano, PT, MSc: Graduate School of Health Sciences, Ibaraki Prefectural University of Health Sciences
2) 茨城県立医療大学付属病院リハビリテーション部理学療法科
Shinogu Kusano, PT, MSc, Kenichi Yoshikawa, PT, PhD, Kazumori Koseki, PT, MSc, Ayumu Sano, PT, MSc, Jun Yabuki, PT, PhD: Department of Physical Therapy, Ibaraki Prefectural University of Health Sciences Hospital
3) 茨城県立医療大学保健医療学部理学療法学科
Kazuhiro Miyata, PT, PhD, Masafumi Mizukami, PT, PhD: Department of Physical Therapy, Ibaraki Prefectural University of Health Sciences
4) 茨城県立医療大学人間科学センター研究科保健医療科学専攻
Neil David Parry, MSc: Human Science Center, Ibaraki Prefectural University of Health Sciences
5) 茨城県立医療大学付属病院診療部リハビリテーション科
Ryu Ishimoto, MD: Department of Rehabilitation Medicine, Ibaraki Prefectural University of Health Sciences Hospital
6) 高崎健康福祉大学保健医療学部理学療法学科
Yosuke Tomita, PT, PhD: Department of Physical Therapy, Takasaki University of Health and Welfare
E-mail: shinogukusano@gmail.com
(受付日 2022年7月21日/受理日 2022年11月2日)
[J-STAGEでの早期公開日 2022年12月9日]

定では、歩行の運動学的・時空間的特徴を客観的に評価できる観察的歩行評価が用いられることがある。

観察的歩行評価は歩行パターンを総合的に評価できるツールであり、歩行評価時に問題点の見落としを防ぐことができると報告されている⁵⁾。脳卒中領域⁶⁾⁷⁾や脳性麻痺領域⁸⁾、パーキンソン病領域⁹⁾などで観察的歩行評価が作成され、脊髄損傷領域では2001年にField-Foteらによって作成されたSpinal Cord Injury Functional Ambulation Inventory (以下、SCI-FAI)¹⁰⁾が唯一の観察的歩行評価である⁴⁾。SCI-FAIは脊髄損傷等に特化した観察的歩行評価であり、脊髄損傷者集団において重要と考えられる歩行機能を総合的に評価するために作成された順序尺度である。開発者らは一般的な臨床現場における脊髄損傷リハビリテーションの質の向上を一つの目的としてSCI-FAIを開発した。SCI-FAIは歩容 (Parameter)、歩行補助具 (Assistive Devices)、歩行頻度および範囲・距離の指標 (Temporal/Distance measure) の3つの構成要素からなり、構成要素ごとに合計点を算出する¹⁰⁾。本論文ではParameterをGait Parameterと表記する。Gait Parameterの信頼性は、先行研究では歩行中の対象者を直接観察して評価するLive Sessionと撮影された動画を観察して評価するVideo Sessionで確認されており、級内相関係数Intraclass Correlation Coefficients (以下、ICC) は検者内信頼性ICC (3.1): 0.85~0.96, 検者間信頼性ICC (2.1): 0.703~0.840であった¹⁰⁾。近年Gait Parameterは脊髄損傷者の三次元動作解析¹¹⁾や筋シナジー解析¹²⁾、床反力測定研究¹³⁾のサブスケールとして用いられ、臨床的に観察可能な歩行障害を示す指標として臨床研究で用いられている。

本邦ではSCI-FAIを用いた研究や症例報告は1件のみであり¹⁴⁾、本評価ツールが一般的に普及していないと推測できる。また、日本語に翻訳されておらず、本邦における臨床現場で使用可能な信頼性を有するかは明らかとなっていない。さらに、先行研究¹⁰⁾ではGait Parameter合計点の信頼性のみ示されており、系統誤差や下位項目の一致率は報告がされていない。

Gait Parameterは脊髄損傷者の歩容を評価する唯一の尺度指標であり、Gait Parameterを用いることでリハビリテーション介入による歩容の治療効果を客観的に示すことが可能となる。そこで、本研究では日本語版SCI-FAIを作成し、Gait Parameterの信頼性を明らかにすることを目的とした。

対象および方法

SCI-FAIは、Gait Parameter, Assistive Devices, Temporal/Distance Measureの3つの要素で構成されている。Gait ParameterはWeight shift, Step width, Step rhythm, Step height, Foot contact, Step lengthの下位項目で構成され、

左右各10点合計20点満点で評価する。Assistive Devicesは使用している上肢補助具を意味するUpper extremity balance/weightbearing devices左右各4点合計8点と、使用している下肢装具を意味するLower extremity assistive devices左右各3点合計6点で示し、上下肢合計14点満点で評価する。Temporal/Distance measureは日常生活における歩行頻度と範囲Walking mobility 5点と2分間歩行テストの距離2 Minute Walk Test (以下、2MWT) を評価する。

1. 日本語版SCI-FAIの作成

原著者と論文出版社から非営利目的の使用と原著論文引用を条件に翻訳の許可を得た。さらに、尺度に対する理解を深めるため原著者とやり取りを行った。二重翻訳はFrancis Guilleminらのガイドライン¹⁵⁾に準じた。順翻訳者3名 (理学療法士2名、リハビリテーション医師—バイリンガル1名) が独立して日本語へ翻訳し、3つの翻訳案を7名のメンバー (理学療法士3名、言語教育者—バイリンガル1名、順翻訳者3名) で1つの日本語版へまとめた。次に、英語原版を知らない逆翻訳者 (海外留学経験あり、翻訳業に従事し二重翻訳の経験のある理学療法士) が日本語版を英語へ翻訳し逆翻訳版を作成した。その後、原著者が英語原版と逆翻訳版との整合性を検討し、原著者からの指摘をもとに再度順翻訳の過程から同様の手続きを複数回行った。最後に、翻訳に関与しない理学療法士3名が日本語表現や内容を確認し細かな修正を行い、最終的な日本語版SCI-FAIを完成させた (図1)。

2. 信頼性の検討

1) 対象

対象者は2019年4月1日から2021年5月31日の期間に茨城県立医療大学付属病院回復期病棟または障害者等一般病棟へ入院した不全脊髄損傷者であり、選択基準は退院時評価時に2分間以上の連続歩行を見守りまたは自立 (歩行補助具の使用の有無は問わない) して実施できる20歳以上の者とした。除外基準は担当理学療法士が安全に実施できないと判断した者、本研究に関して研究の協力を希望しない意思を示した者とした。

2) サンプルサイズ

先行研究¹⁰⁾で算出された検者間信頼性である級内相関係数ICC: 0.703を参考とし、Fisherの級内相関係数のZr変換を用いて¹⁶⁾、信頼区間幅0.2、標準誤差0.1、評価者2名と仮定し本研究のサンプルサイズ34名を算出した。

3) Gait Parameter評価の方法

対象者を2MWTまたは6MWT中に前後左右の四方向から動画を撮影した。対象者は、0 m地点と10 m地点に三角コーンを置いた10 m歩行路を、反時計回りに折り返す歩行を繰り返した。撮影は2台のビデオカメラ

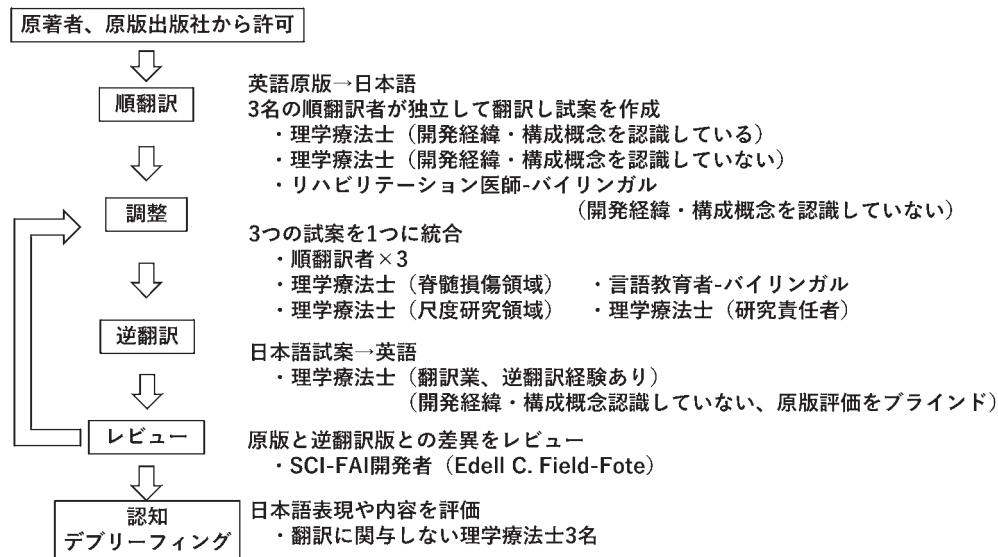


図1 二重翻訳プロセス

(SONY, HANDYCAM, HDR-CX470) を使用し、1台は矢状面を撮影するために歩行路中央から3.5 mかつ床から0.75 mの位置に設置した。もう1台は前額面を撮影するために歩行路端から3 mかつ床から0.45 mの位置に設置した。カメラの画角は、対象者のつま先から頭部、歩行補助具が全て入る設定とした。評価に使用する動画は歩行テスト開始から2分間とし、矢状面（左右）、前額面（前方1分／後方1分）を撮影した。前額面カメラは開始から1分間は対象者を前方から撮影し、開始後1分から2分後までは対象者を後方から撮影した。得られた動画ファイルはビデオ編集ソフトウェア (EDIUS Pro 9, Grass Valley) を用いて2MWTまたは6MWTの開始から2分間を使用し、対象者が動画上に映っていないフェーズは削除するように編集した。

SCI-FAIのGait Parameter評価は2名の理学療法士の動画観察によって行われ、両者は独立して評価した。評価者はSCI-FAI評価未経験の者とした。評価者Aは臨床経験7年かつ認定理学療法士（基礎、脳卒中）、評価者Bは臨床経験15年かつ認定理学療法士（脊髄障害）を有する者とした。両者に対し事前にSCI-FAI各項目の説明を行い、サンプル症例に対するSCI-FAI評価を施行した。両者の疑問点が解消するまで研究責任者が説明を行い、可能な限り評価方法の習熟を図った。評価は「対象者の最も特徴的な歩容を採点する」、「採点で迷う際は、低い点数をつけること」を条件とし、動画を繰り返し見ることを許可した。Gait Parameter評価は、第一評価日 (Video Session1) と第二評価日 (Video Session2) の二回設定し、2週間以上の間隔を設けた。Video Session1の結果はVideo Session2を完遂するまで盲検化した。

4) 解析

Gait Parameter合計点の信頼性を示す級内相関係数はICC、内的一貫性はCronbachの α 係数、下位項目の一致

率はWeighted kappaを用いた。ICC(1, 1)を用い評価者A, Bの検者内信頼性を確認した。ICC(2, 1)を用い評価者A, B間の検者間信頼性を確認した。ICCとWeighted kappaの解釈は、Landisら¹⁷⁾の基準を用いた。0.81~1.00はalmost perfect（ほぼ完全に一致）、0.61~0.80はsubstantial（かなり一致）、0.41~0.60はmoderate（中等度一致）、0.21~0.40はfair（少し一致）、0.00~0.20はslight（わずかに一致）と解釈した。

系統誤差の確認を検者内および検者間で行った。検者内はVideo Session1, Video Session2の各対象者におけるVideo Session間の合計点の差(d)をy軸、Video Session1, Video Session2の各対象者におけるVideo Session間の合計点の平均値(m)をx軸とする散布図を作成しBland-Altman分析¹⁸⁾を行った。検者間は評価者2名の各対象者における評価者間の合計点の差(d)をy軸、評価者2名の各対象者における評価者間の合計点の平均値(m)をx軸とする散布図を作成し、Bland-Altman分析¹⁸⁾を行った。さらに、dの平均値の95%信頼区間（以下95%CI）から固定誤差の有無を確認した。dとmの回帰式の有意性から比例誤差の有無を確認した。また、評価者2名の測定値間の誤差の許容範囲を示すLimit of Agreement（以下、LoA）を算出した。さらに、測定誤差の検討するため、最小可検変化量Minimal Detectable Change（以下、MDC）を算出した。MDCは測定の標準誤差Standard Error of Measurement（以下、SEM）から算出されるが、SEMは標準偏差とICCを用いて求めた¹⁹⁾。

$$MDC = SEM \times 1.96 \times \sqrt{2}$$

$$SEM = \text{標準偏差} \times \sqrt{1 - ICC}$$

本研究における統計処理はIBM SPSS Statistics, version 26, IBM社を使用し、有意水準は5%とした。

なお、本研究は茨城県立医療大学倫理委員会によって

承認され(受付番号: 936, e277, 2019年4月1日~2020年6月30日までの対象者には当院ホームページ内にてアウトにより, また2020年7月1日以降の対象者には書面を用いて直接研究説明を行い書面で同意を得た。

結 果

1. SCI-FAI二重翻訳

二重翻訳を経て完成した日本語版SCI-FAIを示す(図2)。

大項目 Gait Parameter, Assistive Devices, Temporal/Distance

日本語版 Spinal Cord Injury Functional Ambulation Inventory (SCI-FAI)			
対象者氏名: _____		評価者: _____	
評価日: _____			
歩行パラメータ (PARAMETER)		基準	
A. 体重移動 (Weight shift)	立脚側下肢への体重移動ができていない 体重移動が欠如している/主に歩行補助具に荷重している	左 1 0	右 1 0
B. 歩幅 (Step width)	遊脚側足部が振り出される際に 立脚側下肢にぶつからない 立脚側下肢にぶつかる 足部の接地位置が、次の遊脚側下肢を 妨げる位置でない 妨げる位置である	左 1 0 1 0	右 1 0 1 0
C. 歩行リズム (Step rhythm)	立脚側下肢の踵接地後、対側下肢(採点)が前方に進み始めるまでに 遊脚側下肢を振り出すまでに要する時間	左 2 1 0	右 2 1 0
D. トゥークリアランス (Step height)	遊脚中はずつま先を擦らない 遊脚初期のみつま先を擦る 遊脚中につま先を擦る	左 2 1 0	右 2 1 0
E. 足部接地 (Foot contact)	前足部より先に踵から接地する 前足部または全足底から接地する	左 1 0	右 1 0
F. 歩幅 (Step length)	踵の接地位置が、立脚側のつま先より前方である つま先の接地位置が、立脚側のつま先より前方である つま先の接地位置が、立脚側のつま先より後方である	左 2 1 0	右 2 1 0
		左右合計点	/10
		合計点	/20
歩行補助具/下肢装具 (ASSISTIVE DEVICES)		左	右
上肢で使用するバランス補助具 体重免除の補助具	なし	4	4
	杖	3	3
	4点杖, クラッチ (前腕支持型/腋窩支持型)	2	2
	歩行器	2	
	平行棒	0	
下肢装具	なし	3	3
	短下肢装具 (AFO)	2	2
	長下肢装具 (KAFO)	1	1
	交互式歩行装具 (RGO, PrimeWalk)	0	0
		左右合計点	/7
		合計点	/14
歩行頻度および範囲、距離の指標 (TEMPORAL/DISTANCE MEASURE)			
歩行移動 習慣的な移動方法 (歩行/車椅子)	日常的に地域活動時に歩行する (減多に/ほとんど車椅子は使用しない)	5	
	日常的に自宅内で歩行し、たまに地域活動時に歩行する	4	
	たまに自宅内で歩行し、減多に地域活動時に歩行しない	3	
	減多に自宅内で歩行しない、地域活動時に歩行しない	2	
	運動として歩行する	1	
	歩行しない	0	
		合計点	/5
2分間歩行テスト	2分間で歩行した距離= _____ (m) 距離(m)/時間(分) = _____		

図2 日本語版SCI-FAI評価表

Field-Fote EC, Fluet GG, *et al.*: The Spinal Cord Injury Functional Ambulation Inventory (SCI-FAI). J Rehabil Med. 2001; 33: 177-181. より二重翻訳

measureとGait parameter下位項目は国際比較を可能とするため英語原版の項目名を英語で記載した。大項目であるParameterは歩行パラメータ、Assistive Devicesは歩行補助具／下肢装具、Temporal/Distance Measureは歩行頻度及び範囲、距離の指標と翻訳し、大項目名で評価内容が想起しやすい翻訳を心掛け原著者から許可を得た。Gait ParameterではWeight shiftを体重移動、Step Widthを歩隔、Step rhythmをステップリズム、Step heightをトゥークリアランス、Foot contactを足部接地、Step lengthを歩幅と翻訳した。体重移動の評価は、立脚下肢に体重を移動させているかを観察する項目であり、重心移動と混同しないよう注意が必要である。ステップリズムの評価基準である、「立脚下肢の踵接地後、対側下肢（採点）が前方に進み始めるまでに」は、脊髄損傷者の歩容の特徴である立脚後期から遊脚初期における足部離地が欠如する可能性を考慮した翻訳となっている。Step heightに値し、臨床に馴染みのある単語が想起できなかったため、評価内容からトゥークリアランスと翻訳し原著者から許可を得た。下肢装具の評価基準でReciprocating Gait Orthosis (RGO) が記されていたが、本邦の臨床ではPrime

walkを用いることが多いため原著者に説明し追記した。歩行頻度および距離の指標ではcommunity 地域活動という表現を用いる。地域活動とは、店舗、クリニック、郵便局、友人宅など地域社会で日常の用事を済ませる行為と原著者らは解釈している。さらに、歩行頻度および範囲、距離の指標の評価基準はPerryらが示す詳細な評価基準を使用する（Appendix）²⁰⁾ ことが決まっている。

2. 対象者

本研究の対象者の平均年齢は61.8±10.4歳であり、外傷性脊髄損傷が19名、非外傷性脊髄損傷が15名であり、AIS：C3名、D：31名であった。各評価者のGait Parameter得点は、評価者A Video session1：17.68±3.6, Video Session2：17.53±3.7, 評価者B Video session1：17.56±3.4, Video session2：18.0±3.0であった（表1）。

3. 検者内信頼性

検者内信頼性は評価者AがICC(1, 1)：0.973 (95%CI：0.948～0.987) の「ほぼ完全に一致」であった。下位項目一致率はWeighted kappa：0.827～1.00の「ほぼ完全に一

表1 対象者の背景情報

基本情報			対象者
対象(名)			34
年齢(歳)			61.8±10.4
男女比(男：女)			29：5
罹患～評価日まで(月)			38.8±62.0
受傷原因(名)	外傷性		19
	非外傷性		15
損傷部位(名)	頸髄		20
	胸髄		11
	腰髄		3
AIS grade(名)	C		3
	D		31
FAC(名)	FAC: 3		5
	FAC: 4		12
	FAC: 5		17
Gait Parameter (/20)	評価者A	session1	17.68±3.6
		session2	17.53±3.7
	評価者B	session1	17.56±3.4
		session2	18.0±3.0
Assistive Devices (/14)			10.65±2.8
	上肢 (/8)		5.38±2.4
	下肢 (/6)		5.26±0.9
下肢装具(名)	金属支柱付き短下肢装具		2
	シューホン型短下肢装具		7
	オルトップ型短下肢装具		3
	油圧式継ぎ手付き短下肢装具		3
	カーボン製短下肢装具		1
	なし		18

AIS grade: American Spinal Cord Injury Association Impairment Scale grade, FAC: Functional Ambulation Category

表2 検者内信頼性, 検者間信頼性

	検者内信頼性		検者間信頼性
	評価者A	評価者B	評価者A-B
ICC (1.1)/ICC (2.1)	0.973	0.928	0.848
95%CI	0.948~0.987	0.862~0.963	0.717~0.921
SEM	0.14	0.31	0.76
MDC	0.38	0.85	2.11
Cronbach α	0.986	0.967	0.916
Weighted kappa			
A. 体重移動 (/2)	0.927	0.809	0.689
B. 歩隔 (/4)	0.827	0.713	0.465
C. 歩行リズム (/4)	1	0.782	0.634
D. トウクリアランス (/4)	0.865	0.878	0.836
E. 足部接地 (/2)	0.839	0.749	0.349
F. 歩幅 (/4)	0.899	1	0.899

ICC: Intraclass Correlation Coefficients, 95%CI: 95% Confidence Interval: 95% 信頼区間, SEM: Standard Error of Measurement: 標準誤差, MDC: Minimal Detectable Change: 最小可検変化量

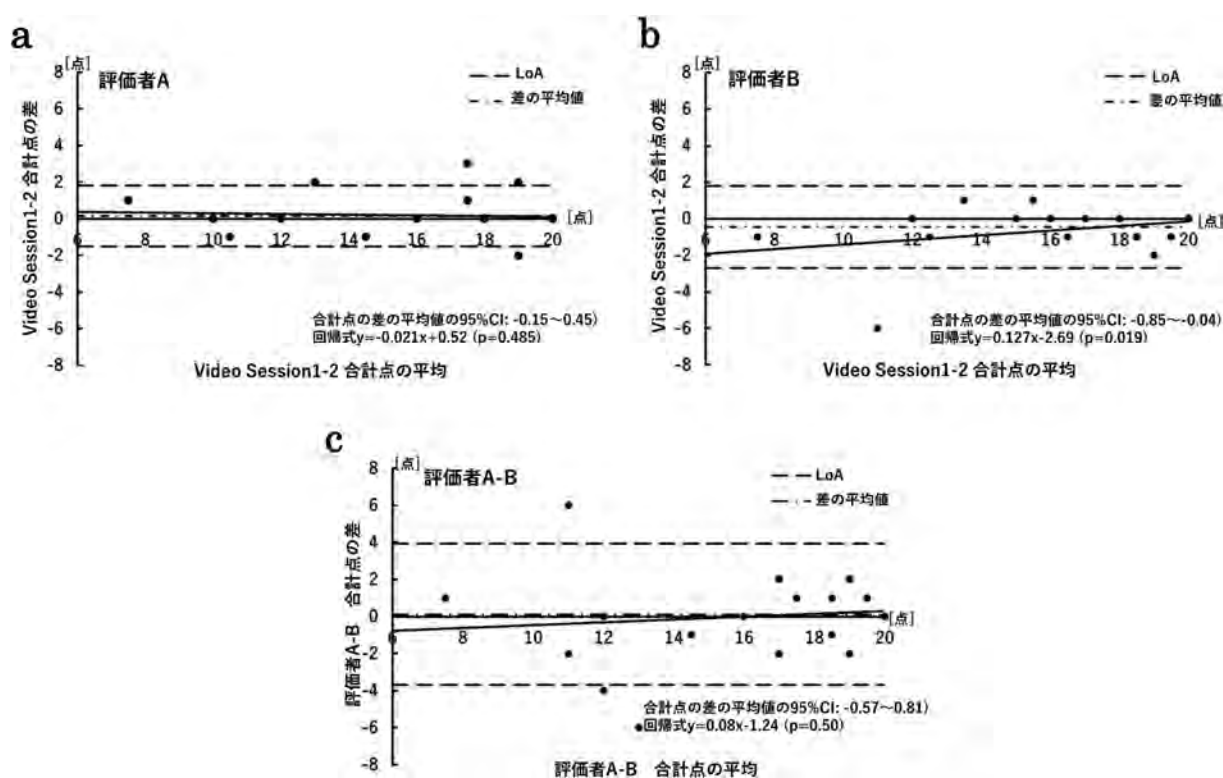


図3 Bland-Altman分析

LoA: Limit of Agreement, 95%CI: 95% Confidence Interval: 95% 信頼区間

致」であった(表2)。内的整合性はCronbachの α 係数: 0.986であった。評価者BがICC(1, 1): 0.928 (95%CI: 0.862~0.963)の「ほぼ完全に一致」であった。下位項目一致率はWeighted kappa: 0.713~1.00の「かなり一致-ほぼ完全に一致」であった(表2)。内的整合性はCronbachの α 係数: 0.967であった。Bland-Altman分析は, 評価者Aはdの平均値の95%CIが-0.15~0.45, dとmの回帰式は $y = -0.021x + 0.52$ ($p = 0.485$)で固定誤差, 比例誤差は確認されなかった(図3a)。評価者Bはdの平均値の95%CIが

-0.85~-0.04, dとmの回帰式は $y = 0.127x - 2.69$ ($p = 0.019$)で固定誤差, 比例誤差が確認された(図3b)。検者内のMDCは評価者Aが0.38点, 評価者Bが0.85点であった。

4. 検者間信頼性

検者間信頼性はICC(2, 1): 0.848 (95%CI: 0.717~0.921)の「ほぼ完全に一致」であった。下位項目一致率はWeighted kappa: 0.349~1.00の「少し一致-ほぼ完全に一致」であった(表2)。内的整合性はCronbachの α 係数: 0.916で

あった。Bland-Altman分析の結果dの平均値の95%CIは-0.57~0.81, dとmの回帰式は $y=0.08x-1.24$ ($p=0.50$)となり、固定誤差、比例誤差は確認されなかった(図3c)。検者間のMDCは2.11点であった。

考 察

本研究では、日本語版SCI-FAIを作成し、本邦においても歩容を示すGait Parameterの有する高い信頼性を明らかにした。以下、その論拠を述べる。

検者間信頼性はICC(2, 1): 0.848で「ほぼ完全に一致」で先行研究と同様の結果が得られた¹⁰⁾。下位項目一致率は[E. 足部接地]でWeighted kappaが0.4以下であり「少しの一致」であった。Bland-Altman分析では固定誤差、比例誤差は認められなかった。先行研究では下位項目一致率とBland-Altman分析、系統誤差の分析は実施されていない。MDCは2.11点であり、先行研究ではMDCは1.9点と報告されており²¹⁾ 同等の結果であった。下位項目[E. 足部接地]は踵接地/前足部接地-全足底接地を判別する項目である。本研究では対象者は靴や下肢装具の使用を許可したため、トゥースプリング加工された靴や下肢装具を使用した症例は踵接地と全足底接地の判断が分かれた可能性が考えられる。脳卒中領域の観察的歩行評価では、詳細な採点基準を有し動画上で評価を実施した場合高い信頼性が得られると報告されている²²⁾。本研究は対象者の全身が映る設定で動画撮影を行ったため足関節運動を詳細に評価できなかった可能性が考えられる。足関節運動を正確に観察するには画素数の高い動画や、スロー再生機能、動画のズームなどの機能を用いることで改善が見込める。

検者内信頼性はICC(1, 1): 0.928~0.973で「ほぼ完全に一致」で先行研究と同様の結果が得られた¹⁰⁾。下位項目一致率は0.713~1.00で「かなり一致-ほぼ完全に一致」であった。Bland-Altman分析では評価者Bで固定誤差、比例誤差が認められた。図3bでLoAから逸脱している一症例は、下位項目[B. 歩隔]、[E. 足部接地]で得点差異が生じた。下位項目[B. 歩隔]の検者内Weighted Kappaは0.713~0.827で「かなり一致-ほぼ完全に一致」を示すが、検者間Weighted Kappaは0.465で「中等度一致」の結果であり、下位項目[B. 歩隔]は評価基準が曖昧である可能性が考えられた。脳卒中領域ではWisconsin Gait Scale⁶⁾が各国で翻訳され高い信頼性を有している。Wisconsin Gait ScaleにはGait Parameter[B. 歩隔]と類似した項目を有しており、靴幅を基準として採点を行う。今後SCI-FAI Gait Parameterは身体ランドマークを用いて評価基準を厳格化することで、さらに高い信頼性が得られる可能性がある。

本研究ではSCI-FAIを国際基準のガイドラインに準拠した形で翻訳を行った。SCI-FAIは理学療法士や医師に

よる臨床・研究での使用が想定されるため、順翻訳・調整・逆翻訳の過程は理学療法士・リハビリテーション医のメンバーで構成した。さらに、調整の過程には医療従事者ではない言語教育者も加わったため原版との整合性は高いものと考ええる。

一方で本研究の限界は、Video Sessionでのみ信頼性を検討したこと、比較的歩行機能が高い症例が多く取り込まれたことが挙げられる。本研究では退院時評価の際に撮影した動画を用いたが、評価者2名の同席が難しかったため、Video Sessionのみで信頼性を検討した。観察的歩行評価は、主観的な要素が強く客観的な機器を用いた歩行分析と比較した場合信頼性が劣るとの報告²³⁾がある一方、脳卒中の観察的歩行評価では、詳細な採点基準を有し動画上で評価を実施した場合信頼性が高いとも報告されている²²⁾。動画撮影自体がより一般的となってきた現状を鑑みると、信頼性の高いVideo Sessionによる評価が望ましいものと考ええる。また、対象者選定基準を退院時に2分間以上の連続歩行を見守りまたは自立(歩行補助具の使用の有無は問わない)して実施できる者としたため、比較的歩容が安定した症例が対象となっている可能性が考えられる。さらに、検者間信頼性の検討では対象者の14名が20点満点であり評価者間で高い信頼性を導いた可能性が考えられる。

本邦では不全脊髄損傷者の増加¹⁾、多くの場合、脊髄損傷リハビリテーションを主体とした専門病棟以外の回復期リハビリテーション病棟でリハビリテーションが行われるようになってきていると思われる。SCI-FAIは脊髄損傷者リハビリテーション経験の浅い理学療法士の歩行介入の一助となることが期待される。

結 論

日本語版SCI-FAIは当院の臨床設定において高い信頼性を有し先行研究と同等であることを確認した。今後はサンプル数を増やし妥当性、解釈可能性を示していきたい。

利 益 相 反

本研究に関連して、開示すべき利益相反はない。

謝辞：日本語版SCI-FAIの作成を承諾していただき、かつ翻訳レビューにご尽力くださった原著者Edell C Field-Fote博士に深く感謝申し上げます。さらに、本研究を行うにあたりご協力いただきました対象者、関係者の方々に深謝いたします。

文 献

- 1) Miyakoshi N, Suda K, *et al.*: A nationwide survey on the incidence and characteristics of traumatic spinal cord injury in Japan

- in 2018. *Spinal Cord*. 2021; 59: 626–634.
- 2) Shingu H, Ohama M, *et al.*: A nationwide epidemiological survey of spinal cord injuries in Japan from January 1990 to December 1992. *Paraplegia*. 1995; 33: 183–188.
 - 3) van Middendorp JJ, Hosman AJ, *et al.*: EM-SCI Study Group: ASIA impairment scale conversion in traumatic SCI: is it related with the ability to walk? A descriptive comparison with functional ambulation outcome measures in 273 patients. *Spinal Cord*. 2009; 47: 555–560.
 - 4) Bolliger M, Blight AR, *et al.*: Lower extremity outcome measures: considerations for clinical trials in spinal cord injury. *Spinal Cord*. 2018; 56: 628–642.
 - 5) Watelain E, Froger J, *et al.*: Variability of video-based clinical gait analysis in hemiplegia as performed by practitioners in diverse specialties. *J Rehabil Med*. 2005; 37: 317–324.
 - 6) Rodriguez A, Pamela O, *et al.*: Gait training efficacy using a home-based practice model in chronic hemiplegia. *Arch Phys Med Rehabil*. 1996; 77: 801–805.
 - 7) Daly JJ, Nethery J, *et al.*: Development and testing of the Gait Assessment and Intervention Tool (G.A.I.T.): A measure of coordinated gait components. *J Neurosci Methods*. 2009; 178: 334–339.
 - 8) Dickens WE, Smith MF: Validation of a visual gait assessment scale for children with hemiplegic cerebral palsy. *Gait Posture*. 2006; 23: 78–82.
 - 9) Thomas M, Jankovic J, *et al.*: Clinical gait and balance scale (GABS): Validation and utilization. *J Neurol Sci*. 2003; 217: 89–99.
 - 10) Field-Fote EC, Fluet GG, *et al.*: The Spinal Cord Injury Functional Ambulation Inventory (SCI-FAI). *J Rehabil Med*. 2001; 33: 177–181.
 - 11) Sohn WJ, Tan AQ, *et al.*: Variability of leg kinematics during overground walking in persons with chronic incomplete spinal cord injury. *J Neurotrauma*. 2018; 35: 2519–2529.
 - 12) Hayes HB, Chvatal SA, *et al.*: Neuromuscular constraints on muscle coordination during overground walking in persons with chronic incomplete spinal cord injury. *Clin Neurophysiol*. 2014; 125: 2024–2035.
 - 13) Peters DM, Thibaudier Y, *et al.*: Constraints on stance-phase force production during overground walking in persons with chronic incomplete spinal cord injury. *J Neurotrauma*. 2018; 35: 467–477.
 - 14) 古関一則, 高野華子, 他: HONDA歩行アシスト®を用いた歩行練習により歩行能力の改善を認めた頸髄損傷による不全四肢麻痺の一例. *運動障害*. 2018; 28: 35–42.
 - 15) Guillemin F, Bombardier C, *et al.*: Cross-cultural adaptation of health-related quality of life measures: literature review and proposed guidelines. *J Clin Epidemiol*. 1993; 46: 1417–1432.
 - 16) Streiner D, Nprman G, *et al.*: 医学的測定尺度の理論と応用: 妥当性, 信頼性からG理論, 項目反応理論まで. *メディカルサイエンスインターナショナル*, 東京, 2016, pp. 180–187.
 - 17) Landis JR, Koch GG: The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*. 1997; 33: 159–174.
 - 18) Bland JM, Altman DG: Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet*. 1986; i: 307–310.
 - 19) 下井俊典, 谷 浩明: 最小可検変化量を用いた2種類の継ぎ足歩行テストの絶対信頼性の検討. *理学療法科学*. 2010; 25: 49–53.
 - 20) Perry J, Garrett M, *et al.*: Classification of walking handicap in the stroke population. *Stroke*. 1995; 26: 982–989.
 - 21) Lam T, Noonan VK, *et al.*: SCIRE Research Team: A systematic review of functional ambulation outcome measures in spinal cord injury. *Spinal Cord*. 2008; 46: 246–254.
 - 22) Ferrarello F, Bianchi VAM, *et al.*: Tools for observational gait analysis in patients with stroke: A systematic review. *Phys Ther*. 2013; 93: 1673–1685.
 - 23) Toro B, Nester C, *et al.*: A review of observational gait assessment in clinical practice. *Physiother Theory Pract*. 2003; 19: 137–149.

電子付録 (補遺):

1 Appendix

〈Abstract〉

Translation and Reliability of the Japanese Version of the Spinal Cord Injury Functional Ambulation Inventory (SCI-FAI)

Shinogu KUSANO, PT, MSc

Graduate School of Health Sciences, Ibaraki Prefectural University of Health Sciences

Shinogu KUSANO, PT, MSc, Kenichi YOSHIKAWA, PT, PhD, Kazunori KOSEKI, PT, MSc, Ayumu SANO, PT, MSc, Jun YABUKI, PT, PhD

Department of Physical Therapy, Ibaraki Prefectural University of Health Sciences Hospital

Kazuhiro MIYATA, PT, PhD, Masafumi MIZUKAMI, PT, PhD

Department of Physical Therapy, Ibaraki Prefectural University of Health Sciences

Neil David Parry, MSc

Human Science Center, Ibaraki Prefectural University of Health Sciences

Ryu ISHIMOTO, MD

Department of Rehabilitation Medicine, Ibaraki Prefectural University of Health Sciences Hospital

Yosuke TOMITA, PT, PhD

Department of Physical Therapy, Takasaki University of Health and Welfare

Objective: The purpose of this study was to translate the Spinal Cord Injury Functional Ambulation Inventory (SCI-FAI) into Japanese and verify its reliability.

Methods: The Japanese version of the SCI-FAI was translated according to international guidelines. Study subjects included 34 patients with incomplete spinal cord injuries (mean age 61.8 ± 10.4 years). Two evaluators conducted the SCI-FAI twice on video. Intraclass Correlation Coefficients (ICC) (1, 1) and ICC (2, 1); Cronbach's alpha coefficient; Weighted Kappa coefficient; and Bland-Altman analysis were used to confirm intra- and inter-rater reliability.

Results: The Japanese version of the SCI-FAI was prepared according to international standards. Intra-rater reliability ICC (1, 1) was 0.928~0.973, Cronbach's alpha coefficient was 0.967~0.986, Weighted Kappa coefficient was 0.713~1.00, and Bland-Altman analysis showed a fixed error and proportional error in one rater. Inter-rater reliability ICC (2, 1) was 0.848, Cronbach's alpha coefficient was 0.916, Weighted Kappa coefficient was 0.349~0.899, and Bland-Altman analysis showed no fixed or proportional errors.

Conclusions: The Japanese version of the SCI-FAI was confirmed to be a reliable assessment tool in the Japanese clinical setting.

Key Words: Spinal Cord Injury Functional Ambulation Inventory (SCI-FAI), Spinal cord injury, Observational gait analysis, Reliability

Appendix 歩行頻度および範囲の評価基準

SCI-FAI 歩行頻度および範囲		Perry らによる評価基準 ²⁰⁾
5	日常的に地域活動時に歩行する (滅多に／ほとんど車椅子は使用しない)	約400 mの距離を通常歩行の50%以上の歩行速度で移動することが可能. 縁石, 階段, 扉など歩行に関するあらゆることを安全に管理することができる.
4	日常的に自宅内で歩行し, たまに地域活動時に歩行する	自宅内の歩行が可能. 扉や低い縁石, 傾斜を歩行することが可能. 長距離の移動時は車椅子を使用する.
3	たまに自宅内で歩行し, 滅多に地域活動時に歩行しない	自宅内の妥当な距離を継続的に歩行が可能. 自宅内の階段や自宅外の縁石, 傾斜に介助や支援が必要な場合がある. 屋外は車椅子を使用する.
2	滅多に自宅内で歩行しない, 地域活動時に歩行しない	自宅内の歩行は可能であるが, 耐久性, 筋力, 安全性の面で制限がある.
1	運動として歩行する	耐久性, 筋力, 介助量により機能的な歩行ができない. 起立動作に介助が必要.
0	歩行しない	—

症例研究

脳卒中片麻痺患者に対する歩行補助ロボットを用いた 高速度歩行練習の効果*

—シングルケースデザインによる検証—

山田 将成^{1) #} 福井 裕介¹⁾ 細井雄一郎^{1) 2)}
牧 芳昭¹⁾ 藤井 博昭¹⁾ 中橋 亮平¹⁾

要旨

【目的】脳卒中片麻痺患者1例に対し、ウェルウォークのアシスト機能を用いた高速度歩行練習がトレッドミル練習と比較して歩行速度の改善に有効か検証した。【対象および方法】対象は視床出血により右片麻痺を呈した50歳代女性である。AB型シングルケースデザインを用いて、A期はトレッドミル、B期はウェルウォークを用いた歩行練習を各8日間実施した。評価項目は快適および最大歩行速度とした。解析は各期の回帰係数を比較するとともに、標準偏差帯法によりA期の平均値+2 Standard-deviation (SD) に対するB期の上位数を二項分布で検定した。【結果】快適、最大歩行速度いずれもB期の回帰係数が大きく、二項分布の結果、B期で有意な改善を認めた ($p < 0.05$)。練習中のトレッドミル速度はB期において高値であった。【結論】脳卒中片麻痺患者に対するウェルウォークのアシスト機能を用いた歩行練習は、高速度な練習環境の提供を可能にし、歩行速度の向上に有効な可能性が考えられる。

キーワード 脳卒中、歩行速度、歩行補助ロボット、トレッドミル

はじめに

脳卒中片麻痺患者は歩行速度の低下¹⁾、持久性の低下²⁻⁴⁾、歩行時のバランス能力の低下⁵⁻⁷⁾など歩行能力が低下することが報告されている。なかでも歩行速度の低下は脳卒中片麻痺患者に多く見られ、過去の報告において健常高齢者の快適歩行速度は1.2-1.4 m/sであるのに対し、脳卒中片麻痺患者は0.4-0.9 m/sであることが報告されている^{8) 9)}。こうした歩行速度の低下は転倒発生の危険性¹⁰⁾や活動量の減少¹¹⁾、Quality of Life (QOL) の低下¹²⁻¹⁴⁾と関連することが報告されている。さらに脳卒中片麻痺患者の歩行速度は、日常生活能力や生活範囲を担保する要因^{15) 16)}であり、その改善は理学療法におけ

る中心的な課題の1つである。

脳卒中治療ガイドライン2021¹⁷⁾では歩行可能な発症後早期脳卒中患者に対して、歩行速度や耐久性を改善するためにトレッドミル歩行練習を行うことが勧められている(推奨度A)。理学療法ガイドライン第2版¹⁸⁾においても、歩行障害を有する脳卒中患者に対してトレッドミルトレーニングは条件付きで推奨されており、特に歩行速度の改善に有効であるとされている。さらに、コクランレビュー¹⁹⁾でも、トレッドミル歩行練習は通常理学療法と比較して脳卒中片麻痺患者の歩行速度を向上させることが報告されている。このようにトレッドミル歩行練習は脳卒中片麻痺患者の歩行速度を改善する手段としてその有効性が確立されている。

近年、歩行補助ロボットを用いた歩行練習に関する報告が増加しており、コクランレビュー²⁰⁾では、歩行補助ロボットを用いた歩行練習は、歩行自立度の改善に有効であることが報告されている。一方で歩行補助ロボットが歩行速度の改善に及ぼす効果については、通常理学療法やケアと比較して歩行速度の向上に有効であるとされているものの、歩行が自立したものを対象とした場合では、有効性は認められなかったことが明らかとなっ

* Effect of High-speed Robot-assisted Gait Training in Patients Who Have Experienced Hemiparetic Stroke: A Single-case Study

1) 鶴飼リハビリテーション病院リハビリテーション部
(〒453-0811 愛知県名古屋市千代田区太閤通4丁目1)
Masanari Yamada, PT, MSc, Yusuke Fukui, PT, Yuichiro Hosoi, PT, MSc,
Yoshiaki Maki, PT, MSc, Hiroaki Fujii, PT, Ryohei Nakahashi, PT: Department of Rehabilitation, Ukai Rehabilitation Hospital

2) 立命館大学大学院スポーツ健康科学研究科
Yuichiro Hosoi, PT, MSc: Graduate School of Sports and Health Science, Ritsumeikan University

E-mail: masa-yamada@view.ocn.ne.jp
(受付日 2022年4月20日/受理日 2022年11月4日)
[J-STAGEでの早期公開日 2022年12月9日]

ている。Tedlaら²¹⁾による、歩行補助ロボットを用いた歩行練習と通常理学療法の効果を比較したメタ解析においても、歩行速度の改善には両群で有意な差を認めなかったことが報告されている。両報告における共通事項として、対象者が亜急性期の脳卒中患者を対象とするものや、慢性期を対象とするものもあり対象者の属性が異なる点や、使用される歩行補助ロボットのタイプとしてend-effector型を使用するものや、外骨格型を使用するものがあり、研究間で使用されるデバイスが異なること、歩行補助ロボットのアシスト設定や練習内容、練習時間、介入期間が異なるなど、各報告間の対象や方法にばらつきが多い点があり、脳卒中片麻痺患者に対する歩行補助ロボットの使用が歩行速度の改善に及ぼす効果については、対象者や歩行補助ロボットの使用方法を含め十分明らかとなっていない。

Luoら²²⁾のメタアナリシスでは、脳卒中患者の歩行能力の向上には、練習強度や練習中の歩行速度が重要であることが報告されている。歩行補助ロボットの使用は、歩行中のエネルギー消費を軽減する²³⁾が、ロボットのアシスト機能を調整することで、練習強度や歩行速度を調整できる可能性が考えられる。

今回、脳卒中片麻痺患者1例に対し、歩行補助ロボットであるウェルウォーク WW-1000 (以下、ウェルウォーク) のアシスト機能を用いた高速度での歩行練習が、歩行速度の向上に有効であるとされるトレッドミル歩行練習と比較して、歩行速度の改善に有効であるか検証し、脳卒中片麻痺患者に対し、歩行速度の改善を目的とした場合の歩行補助ロボットの効果的な使用方法について検討した。

対象および方法

1. 対象

対象症例は50歳代女性であり、左視床出血により右片麻痺を呈し、発症後122日が経過していた。介入時の下肢運動麻痺はBrunnstrom Recovery Stage (以下、BRS) III, Fugl-Meyer Assessment (以下、FMA) の下肢運動は14/34点、下肢感覚は7/12点であった。筋緊張はComposite Spasticity Index (以下、CSI) にて13/16点、体幹機能はTrunk Impairment Scale (以下、TIS) で16/23点あった。Berg Balance Scale (以下、BBS) は47/56点、歩行は一本杖とRAPS-AFOを使用し病院内の歩行は自立しており、快適歩行速度は0.36 m/s、最大歩行速度は0.41 m/sであった。認知機能についてはミニメンタルステート検査 (Mini-Mental State Examination) にて30/30点であった。

2. 研究デザイン

研究デザインはAB型シングルケースデザインを用いた。基礎水準期であるA期はトレッドミル歩行練習を行

い、操作導入期であるB期はウェルウォークを使用した練習を実施し、練習期間は各期8日間とした。練習時間は、トレッドミル歩行練習、ウェルウォークを使用した歩行練習いずれも10分間とし、5分間を1セット実施した後、休息を挟み、再度5分間の歩行練習を実施した。その他の50分間の理学療法では、関節可動域運動、筋力増強運動、平地または屋外歩行練習などの通常理学療法を実施した。

3. 評価項目

評価項目は平地における快適歩行速度および最大歩行速度とした。歩行速度の計測は、10 m歩行テストを用いておこなった。10 m歩行テストは前後3 mの予備路を含めた計16 mの直線路で行い、10 mの歩行に要する時間をストップウォッチで快適歩行速度、最大歩行速度それぞれ3回ずつ計測し、3回の平均値を求めた。計測はA期、B期ともに練習前に実施し、通常使用する装具や杖を使用して計測をおこなった。

4. 各期における練習方法

1) トレッドミル歩行練習

A期のトレッドミル歩行練習では、安全への配慮として、トレッドミルの側方に設置される手すりを把持し、対象者の身体に転倒防止ハーネスを装着したうえで歩行練習を実施した。転倒防止ハーネスは体重免荷をなしとした。トレッドミル歩行中は転倒防止と歩行の観察のため、療法士は対象者の後方に立ち、直ちに介助ができる位置で見守りをおこなった。練習中のトレッドミル速度の設定は、開始時のトレッドミル速度を、平地における最大歩行速度を参考に1.50 km/hに設定し、麻痺側下肢の引っかかりがなく安全に30秒以上歩行が可能であった場合は、0.10 km/hずつトレッドミル速度を漸増させた。30秒間で麻痺側下肢の引っかかりが一度でも生じた場合は、直ちに0.10 km/hトレッドミル速度を減少させた。翌日は、前日の練習終了時のトレッドミル速度を開始速度に設定し、同様の方法でトレッドミルの速度を調整し、8日間実施した。

2) ウェルウォークを用いた歩行練習

ウェルウォーク (図1) は、藤田医科大学とトヨタ自動車株式会社が共同開発したロボットであり、①安全懸架装置、②脚免荷ハーネス、③正面モニタ、④操作パネル、⑤低床トレッドミル (0.20~3.00 km/h (0.05 km/h刻み))、⑥膝関節モータ角度センサ、⑦足関節可動範囲可変機構、⑧足圧センサが主な構成要素である。ウェルウォークには様々なアシスト機能が搭載されており、膝伸展アシストは麻痺側立脚期の膝関節伸展の補助を最小1~最大10までの10段階に調整でき、振り出しアシスト機能は麻痺側遊脚期における振り出しの補助を最小1



図1 ウェルウォークの概要

①安全懸架装置, ②脚免荷ハーネス, ③正面モニター, ④操作パネル, ⑤低床トレッドミル, ⑥膝関節モータ角度センサ, ⑦足関節可動範囲可変機構, ⑧足圧センサ

～最大6までの6段階に調整可能である。ウェルウォークでは、歩行中に足圧センサと膝関節の角度から歩行周期を判断し、遊脚期において膝関節の屈曲・伸張が行われることでクリアランスが確保されるなど、患者の歩行に合わせた調整が可能となる。ウェルウォークの効果として、歩行に介助が必要である脳卒中患者に対し、通常の歩行練習を実施した群と比較して、歩行自立度であるFunctional Independence Measure (FIM)の歩行項目の改善効率を有意に向上させることが報告されている²⁴⁾²⁵⁾。B期のウェルウォーク練習では、トレッドミル歩行練習と同様に、側方の手すりと転倒防止ハーネス使用し実施した。練習中のトレッドミル速度の設定は、ウェルウォークは0.05 km/h毎の速度調整が可能であるため、A期終了時のトレッドミル速度を開始速度として、A期と同様に麻痺側下肢の引っかかりがなく安全に30秒以上歩行が可能であれば0.05 km/hずつトレッドミル速度を漸増させた。30秒間で麻痺側下肢の引っかかりが一度でも生じた場合は、直ちに0.05 km/hトレッドミル速度を減少させた。ウェルウォークのアシスト機能の設定は、麻痺側下肢の振り出しアシストは最大である6に設定し、麻痺側下肢の歩幅の拡大を図った。歩行中に麻痺側下肢の引っかかりが生じた場合は、トレッドミル速度を減少させることに加えて、膝関節のアシスト機能である遊脚期における膝屈曲開始のタイミングや膝屈曲角度、屈伸速度を調整した。翌日以降は前日の練習終了時のトレッドミル速度を開始速度に設定し、A期と同様の調整方法で8日間実施した。

5. 解析

結果の解析は各期における最小二乗法による回帰直線から回帰係数を求め比較した。さらに、標準偏差帯法により、A期の平均値と標準偏差 (Standard-deviation: 以

下, SD) を用いて平均値+2SDの範囲を求め、その範囲を超えるB期のデータ数を用いて二項分布により検討をおこなった。有意水準は5%とした。また、効果量として比率に基づく効果量 (Percentage of Nonoverlapping Data: 以下, PND) を算出した²⁶⁾。A期, B期における練習中のトレッドミル速度の推移も記録し、各期間の練習中におけるトレッドミル速度の平均値に差があるかをShapiro-Wilk検定により正規性を確認した後、対応のあるt検定を用いて比較した。統計解析にはSPSS ver24.0を使用し、有意水準は5%とした。

6. 倫理的配慮

対象者には、本研究の要旨について口頭にて説明し文章による同意を得た。また本研究は鶴飼リハビリテーション病院倫理審査委員会の承認 (2022年3月) を受けた。

結 果

A期, B期における練習中におけるトレッドミルの最大速度を図2に、各期の練習状況を図3示す。A期における練習中のトレッドミル速度は2.00～2.20 km/h (平均 2.11 ± 0.08 km/h) であったのに対し、B期では2.40～3.00 km/h (平均 2.78 ± 0.23 km/h) であり、B期のほうが練習中のトレッドミル速度は有意に高い値であった ($p < 0.05$)。ウェルウォークを用いることで通常のトレッドミル歩行練習と比較して速い速度での歩行練習が可能であった。ウェルウォークのアシスト量は、開始時に体重免荷量は0 kgとして、膝伸展アシストは0、振り出しアシストは最大値である6に設定し、8日間の歩行練習で体重免荷量、膝伸展アシストと振り出しアシスト、膝屈曲角度は変更せず、膝屈伸速度のみトレッドミル速度に合わせて変更していった。快適歩行速度および最

大歩行速度の変化を図4, 5に示す。快適歩行速度は8日間のトレッドミル歩行練習により, 0.36 m/sから0.38 m/sとなり, 最大歩行速度は0.41 m/sから0.43 m/sとなった。その後8日間のウェルウォーク練習により, 快適歩行速度は0.38 m/sから0.43 m/s, 最大歩行速度は0.43 m/sから0.46 m/sとなった。快適歩行速度のA期における回帰直線の回帰係数は0.0015で, B期では0.0031であり, B期において回帰係数が大きい結果であった。標準偏差帯法と二項分布の結果, A期に比べB期において有意な改善を認めた ($p<0.05$)。PNDは100%であった。最大歩行速度に関してA期における回帰直線の回帰係数は0.0024, B期は0.0054であり, B期において回帰係数が大きい結果であった。標準偏差帯法と二項分布の結果, 快適歩行速度と同様にB期で有意な改善を認めた ($p<0.05$)。PNDは快適歩行速度と同様に100%であった。

介入後の下肢運動麻痺はBRSIII, FMA の下肢運動14/34

点と変化を認めなかった。CSIは13/16点で痙縮の増悪は認めず, TISは16/23点, BBSは47/56点で介入前との変化を認めなかった。

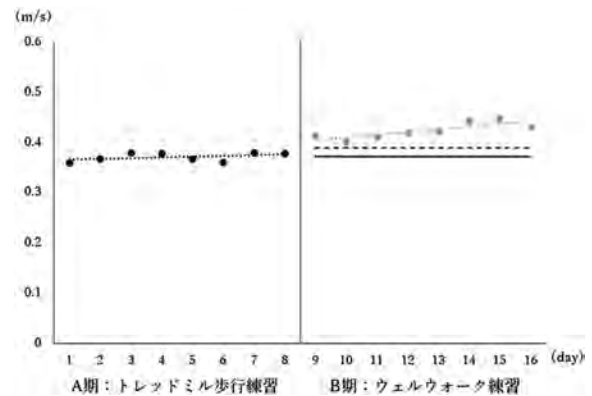


図4 快適歩行速度の変化

点線：各期における回帰直線, 実線：A期における快適歩行速度の平均, 破線：A期における快適歩行速度の平均+2SD

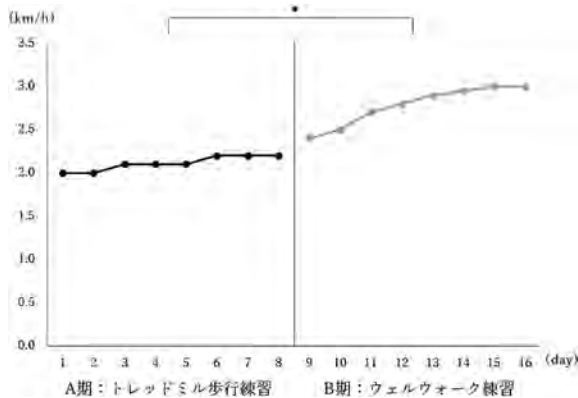


図2 練習中のトレッドミル速度

練習中のトレッドミル速度・丸は各日の練習中におけるトレッドミルの最大速度を表す。*: 対応のあるt検定で有意差あり ($p<0.05$)。

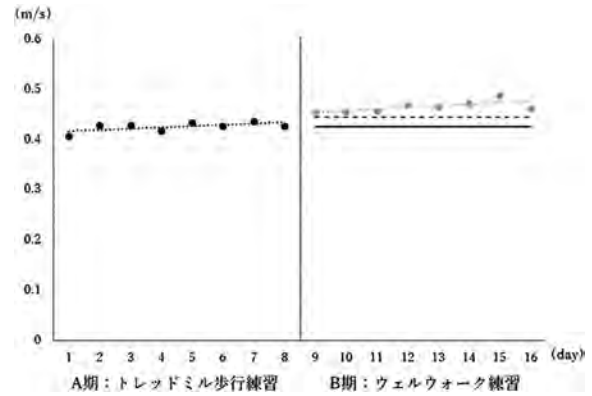


図5 最大歩行速度の変化

点線：各期における回帰直線, 実線：A期における最大歩行速度の平均, 破線：A期における最大歩行速度の平均+2SD

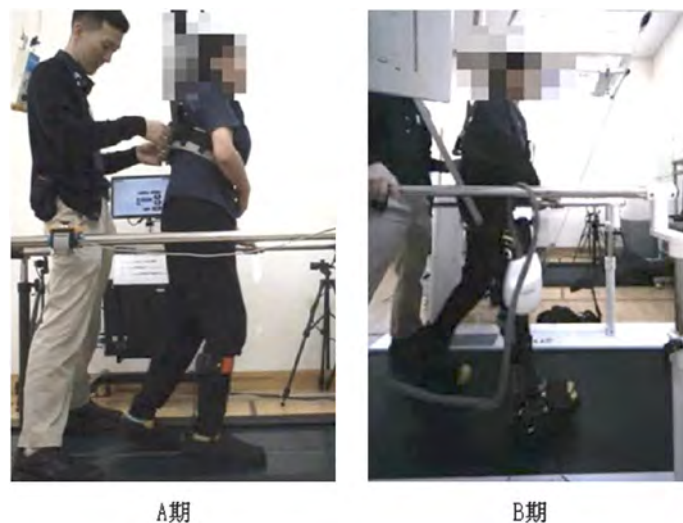


図3 各期における練習状況

A期：トレッドミル歩行練習, B期：ウェルウォーク練習

考 察

本症例に対するウェルウォークのアシスト機能を用いた歩行練習は、通常のトレッドミル歩行練習と比較して、高速度での歩行練習が可能であり、快適歩行速度および最大歩行速度の改善に有効であった。

1. 高速度トレッドミル歩行練習の介入効果

Sullivanら²⁷⁾は、脳卒中片麻痺患者のトレッドミル歩行練習において、トレッドミル速度が低速度(0.50 m/h)で実施する群と高速度(2.00 km/h)で実施する群、0.50～2.00 km/hの間で速度を変化させる群の3群で練習効果を比較しており、高速度で実施した群は他の2群と比較して快適歩行速度の変化量が有意に大きく、快適歩行速度の変化量は、身体機能や開始時の歩行速度に加えて、練習中の速度と関連していたことを報告している。Globasら²⁸⁾も同様に、脳卒中片麻痺患者のトレッドミル歩行練習による最大歩行速度の変化量は、トレッドミル速度の増加量との間に関連がみられたことを報告している。Lee²⁹⁾の報告では、トレッドミル速度を平地における最大歩行速度に設定する歩行練習と比較し、体重免荷装置を使用して強制的に健常者と同レベルの歩行速度で歩行練習をおこなった群の方が、歩行速度の改善が有意に大きかったことを報告している。一方で、Srivastavaら³⁰⁾の報告では、トレッドミル歩行速度を患者の快適速度に基づき設定した場合では、体重免荷の有無に関わらず、歩行速度は平地歩行練習と比較し有意な改善を認めなかった結果となっている。Lauら³¹⁾は、平地における最大歩行速度にトレッドミル速度を設定し、1セッション毎に10%ずつ速度を漸増させた群と、最大歩行速度のままトレッドミル速度を変化させずに歩行練習を実施した群で、2週間の練習効果を比較しており、速度を漸増させた群の方が歩行速度やケイデンスの変化が有意に高かったことを報告している。したがってトレッドミルを用いた歩行練習により歩行速度を向上させるには、①トレッドミル速度を高速度に設定すること、②練習期間中に速度を漸増させることが必要であることが考えられる。本症例は、A期の練習中におけるトレッドミル速度の平均と比較し、B期の練習中におけるトレッドミル速度の平均は有意に高い値であったことから、ウェルウォークのアシスト機能を用いることで通常のトレッドミル歩行練習と比較し、さらに速い速度で歩行練習を実施することが可能であった。また実施中の速度もトレッドミル歩行練習期間は2.00 km/hから2.20 km/hまでの漸増であったのに対し、ウェルウォーク練習では2.40 km/hから3.00 km/hまで漸増することが可能であったことから、より速い速度かつ、速度の漸増が可能であったウェルウォーク練習においてトレッドミル歩行練習よりも快

適歩行速度、最大歩行速度ともに改善がみられたと考える。

2. 歩行速度向上を目的とした歩行補助ロボットのアシスト設定

Yoshimotoら³²⁾は、慢性期脳卒中片麻痺患者に対し、生体電位信号により随意運動をアシストするロボットであるHALを用いて、平地における最大歩行速度の1.5～1.7倍の速度で8週間の高速度歩行練習を実施し、より速い速度での練習環境の提供により、歩行速度に改善が見られたことを報告している。そのため、ロボットに搭載されるアシスト機能を用いることで、患者の有する最大歩行速度よりも高速度の歩行練習が可能となることが考えられる。慢性期脳卒中片麻痺患者を対象に、トレッドミル練習と歩行補助ロボットであるLokomatを用いた歩行練習の効果を比較した研究では、Lokomatを用いた歩行練習を実施した群において、歩行速度やケイデンス、歩幅、両脚支持時間、バランス機能の改善量が有意に高かったことが報告されている³³⁾。この報告では、Lokomatを使用した群とトレッドミル歩行練習を実施した群で、トレッドミルは両群とも同程度の速度に設定されているものの、4週間の実施中にトレッドミル速度は漸増されている。さらにLokomatを使用した群では体重免荷量やロボットによるアシスト量は漸減されている。Mayrら³⁴⁾は同様にLokomatを使用した歩行練習により亜急性期脳卒中患者の歩行速度が向上したことを報告しており、歩行速度の向上を目的とする場合、Lokomatのパラメーター設定として、①体重免荷の軽減、②歩行時間の増加、③歩行速度の増加、④麻痺側下肢へのアシスト量の軽減の順でパラメーターを変更させることを推奨している。したがって歩行補助ロボットを用いたトレーニングにおいて、歩行速度の向上を図ることを目的とする場合、①ロボットのアシスト機能を用いて、より速い速度の練習環境を提供すること、②実施期間中に速度を漸増させること、③体重免荷およびロボットのアシスト量を漸減させることが必要な条件であると考えられる。本症例に対するウェルウォーク練習では、アシスト量は、介入期間が8日間という短い期間であったため、漸減はできていないものの、平地における最大歩行速度や、トレッドミル歩行練習より速い速度での練習環境を提供できており、実施期間中に速度を漸増させることが可能であった。したがって、歩行補助ロボットを用いる際に歩行速度を向上させる条件を満たしていたことが考えられ、快適歩行速度や最大歩行速度の改善に寄与することができたと考える。

3. 研究限界

本研究の限界として、1症例での検討であるため一般

化には限界がある点が挙げられる。また、本介入方法の適応となり得る症例について言及できないため、今後は症例数を増やし検討を重ねる必要がある。また、ウェルウォークのトレッドミル速度は3.00 km/hが上限であり、平地歩行速度がこの速度を上回る場合、高速度での練習環境の提供は困難であることから十分な効果は得られない可能性がある。また実施中のトレッドミル速度の計測はおこなっていたものの、トレッドミル歩行練習とウェルウォークを用いた歩行練習における練習強度の比較はおこなっていなかった。そのため実施中の心拍数や自覚的疲労度の測定など練習強度の違いについても十分に検討をおこなう必要があると考える。

結 論

脳卒中片麻痺患者に対するウェルウォークを用いた歩行練習は、ウェルウォークに搭載されるアシスト機能を用いることで、通常のトレッドミル歩行練習より高速度な練習環境の提供を可能にする。今回の症例ではウェルウォークのアシスト機能を用いた歩行練習後に快適歩行速度と最大歩行速度が向上していた。

利 益 相 反

本論文に関して、開示すべき利益相反関連事項はない。

謝辞：本報告にご協力をいただいた対象者様、鶴飼リハビリテーション病院の関係者の方々に心より感謝申し上げます。

文 献

- Chen G, Patten C, *et al.*: Gait differences between individuals with post-stroke hemiparesis and non-disabled controls at matched speeds. *Gait Posture*. 2005; 22: 51–56.
- Kelly JO, Kilbreath SL, *et al.*: Cardiorespiratory fitness and walking ability in subacute stroke patients. *Arch Phys Med Rehabil*. 2003; 84: 1780–1785.
- Dalgas U, Severinsen K, *et al.*: Relations between 6 minute walking distance and 10 meter walking speed in patients with multiple sclerosis and stroke. *Arch Phys Med Rehabil*. 2012; 93: 1167–1172.
- Dean CM, Richards CL, *et al.*: Walking speed over 10 metres overestimates locomotor capacity after stroke. *Clin Rehabil*. 2001; 15: 415–421.
- Ng SS, Hui-Chan CW: The timed up & go test: Its reliability and association with lower-limb impairments and locomotor capacities in people with chronic stroke. *Arch Phys Med Rehabil*. 2005; 86: 1641–1647.
- Faria CD, Teixeira-Salmela LF, *et al.*: Expanded timed up and go test with subjects with stroke: Reliability and comparisons with matched healthy controls. *Arch Phys Med Rehabil*. 2012; 93: 1034–1038.
- Chan PP, Si Tou JL, *et al.*: Reliability and validity of the Timed Up and Go test with a motor task in people with chronic stroke. *Arch Phys Med Rehabil*. 2017; 98: 2213–2220.
- Bohannon RW, Williams Andrews A: Normal walking speed: A descriptive meta-analysis. *Physiotherapy*. 2011; 97: 182–189.
- Vive S, Elam C, *et al.*: Comfortable and maximum gait speed in individuals with chronic stroke and community-dwelling controls. *J Stroke Cerebrovasc Dis*. 2021; 30: 106023.
- Persson CU, Hansson PO, *et al.*: Clinical tests performed in acute stroke identify the risk of falling during the first year: Postural stroke study in Gothenburg (POSTGOT). *J Rehabil Med*. 2011; 43: 348–353.
- Thilarajah S, Mentiplay BF, *et al.*: Factors associated with post-stroke physical activity: A systematic review and meta-analysis. *Arch Phys Med Rehabil*. 2018; 99: 1876–1889.
- Khanittanuphong P, Tipchatyotin S: Correlation of the gait speed with the quality of life and the quality of life classified according to speed-based community ambulation in Thai stroke survivors. *NeuroRehabilitation*. 2017; 41: 135–141.
- Faria-Fortini I, Polese JC, *et al.*: Associations between walking speed and participation, according to walking status in individuals with chronic stroke. *NeuroRehabilitation*. 2019; 45: 341–348.
- Park J, Kim TH: The effects of balance and gait function on quality of life of stroke patients. *NeuroRehabilitation*. 2019; 44: 37–41.
- Perry J, Garrett M, *et al.*: Classification of walking handicap in the stroke population. *Stroke*. 1995; 26: 982–989.
- An S, Lee Y, *et al.*: Gait velocity and walking distance to predict community walking after stroke. *Nurs Health Sci*. 2015; 17: 533–538.
- 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．協和企画，東京，2021，pp. 263–264.
- 日本理学療法士協会，日本理学療法学会連合理学療法標準化検討委員会ガイドライン部会：理学療法ガイドライン第2版．医学書院，東京，2021，pp. 23–25.
- Mehrholz J, Thomas S, *et al.*: Treadmill training and body weight support for walking after stroke. *Cochrane Database Syst Rev*. 2017; 8: CD002840.
- Mehrholz J, Thomas S, *et al.*: Electromechanical-assisted training for walking after stroke. *Cochrane Database Syst Rev*. 2020; 10: CD006185.
- Tedla JS, Dixit S, *et al.*: Robotic-assisted gait training effect on function and gait speed in subacute and chronic stroke population: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Eur Neurol*. 2019; 81: 103–111.
- Luo L, Meng H, *et al.*: Effect of high-intensity exercise on cardiorespiratory fitness in stroke survivors: A systematic review and meta-analysis. *Ann Phys Rehabil Med*. 2020; 63: 59–68.
- Lefebvre N, De Buyser S, *et al.*: Energy consumption and cost during walking with different modalities of assistance after stroke: A systematic review and meta-analysis. *Disabil Rehabil*. 2020; 42: 1650–1666.
- Tomida K, Sonoda S, *et al.*: Randomized controlled trial of gait training using Gait Exercise Assist Robot (GEAR) in stroke patients with hemiplegia. *J Stroke Cerebrovasc Dis*. 2019; 28: 2421–2428.
- Ii T, Hirano S, *et al.*: Robot-assisted gait training using welwalk in hemiparetic stroke patients: An effectiveness study with matched control. *J Stroke Cerebrovasc Dis*. 2020; 29: 105377.
- 丁子雄希：作業療法士のための超実践！シングルケースデザイン：導入から統計手法まで，金芳堂，京都，2020，pp. 81–90.
- Sullivan KJ, Knowlton BJ, *et al.*: Step training with body weight support: Effect of treadmill speed and practice paradigms on poststroke locomotor recovery. *Arch Phys Med Rehabil*. 2002; 83: 683–691.
- Globas C, Becker C, *et al.*: Chronic stroke survivors benefit from high-intensity aerobic treadmill exercise: A randomized control trial. *Neurorehabil Neural Repair*. 2012; 26: 85–95.

- 29) Lee IH: Does the speed of the treadmill influence the training effect in people learning to walk after stroke? A double-blind randomized controlled trial. *Clin Rehabil.* 2015; 29: 269–276.
- 30) Srivastava A, Taly AB, *et al.*: Bodyweight-supported treadmill training for retraining gait among chronic stroke survivors: A randomized controlled study. *Ann Phys Rehabil Med.* 2016; 59: 235–241.
- 31) Lau KW, Mak MK: Speed-dependent treadmill training is effective to improve gait and balance performance in patients with sub-acute stroke. *J Rehabil Med.* 2011; 43: 709–713.
- 32) Yoshimoto T, Shimizu I, *et al.*: Feasibility and efficacy of high-speed gait training with a voluntary driven exoskeleton robot for gait and balance dysfunction in patients with chronic stroke. *Int J Rehabil Res.* 2015; 38: 338–343.
- 33) Bang DH, Shin WS: Effects of robot-assisted gait training on spatiotemporal gait parameters and balance in patients with chronic stroke: A randomized controlled pilot trial. *NeuroRehabilitation.* 2016; 38: 343–349.
- 34) Mayr A, Kofler M, *et al.*: Prospective, blinded, randomized crossover study of gait rehabilitation in stroke patients using the Lokomat gait orthosis. *Neurorehabil Neural Repair.* 2007; 21: 307–314.

〈Abstract〉

Effect of High-speed Robot-assisted Gait Training in Patients Who Have Experienced Hemiparetic Stroke: A Single-case Study

Masanari YAMADA, PT, MSc, Yusuke FUKUI, PT, Yuichiro HOSOI, PT, MSc, Yoshiaki MAKI, PT, MSc,
Hiroaki FUJII, PT, Ryohei NAKAHASHI, PT

Department of Rehabilitation, Ukai Rehabilitation Hospital

Yuichiro HOSOI, PT, MSc

Graduate School of Sports and Health Science, Ritsumeikan University

Objectives: We investigated whether high-speed robot-assisted gait training using the assist function of Welwalk is more effective than treadmill training in improving the gait speed of patients who have experienced hemiparetic stroke.

Methods: The patient was a woman in her 50s with right hemiplegia due to thalamic hemorrhage. The study used an AB single-case design. Phase A consisted of treadmill training and phase B included Welwalk training, each for 8 days. The outcomes were comfortable and maximum gait speeds. In the analysis, the regression coefficients of both phases were compared, and the binomial test was used after the 2 Standard-deviation (SD) band analysis.

Results: The regression coefficients for both comfortable and maximum gait speeds were greater in phase B. The binomial test results showed significant improvement in both comfortable and maximum gait speeds in phase B ($P < 0.05$). Treadmill speeds during training were higher in the phase B.

Conclusion: High-speed robot-assisted gait training using the assist function of Welwalk in patients who have experienced hemiparetic stroke may be effective in providing a high-speed training environment and improving gait speed.

Key Words: Stroke, Gait speed, Robot-Assisted Gait Training, Treadmill

症例報告

呼吸理学療法と段階的運動療法の有効性が 示唆された重症COVID-19症例* —集中治療関連筋力低下および運動誘発性低酸素血症への対応—

瀬尾 哲^{1) #} 曾田幸一朗²⁾ 宮城陽平¹⁾ 津田宏次朗³⁾
柳田亜維¹⁾ 笹沼直樹¹⁾ 内山侑紀⁴⁾ 道免和久⁴⁾

要旨

【目的】COVID-19により重症の急性呼吸窮迫症候群 (Acute Respiratory Distress Syndrome: 以下, ARDS) を呈した患者に対して急性期から病期に応じた理学療法を実施し, 良好な転帰をたどったため報告する。
【症例紹介】症例はCOVID-19重症化リスク因子を多く有する72歳男性。COVID-19の重症化により他院から搬送後, 重症ARDSと判断され第3病日より呼吸理学療法, 腹臥位療法を開始した。第12病日に人工呼吸器離脱し, 集中治療関連筋力低下 (Intensive Care Unit-Acquired Weakness: 以下, ICU-AW) と運動誘発性低酸素血症 (Exercise-Induced Hypoxemia: 以下, EIH) による日常生活動作 (Activities of Daily Living: 以下, ADL) の低下に対して, 段階的に離床と運動療法を実施した。第29病日にICU-AWの状態を脱し, 病棟ADL自立したが, 第40病日の転院時までEIHは残存した。【結論】重症化リスクの高いCOVID-19患者に対し, 病期に応じた理学療法により呼吸状態の改善, ADLの改善に寄与できたが, EIHは残存したため長期的な理学療法実施の必要性が示唆された。

キーワード 新型コロナウイルス感染症, 集中治療関連筋力低下, 運動誘発性低酸素血症

はじめに

2019年12月の新型コロナウイルス感染症 (以下, COVID-19) の最初の報告から2年余りが経過した。本邦を含め, 世界では度重なるパンデミックによる感染者数の増大, 医療逼迫を経験し, それに伴い今までCOVID-19についてのさまざまな臨床研究がなされてきた。COVID-19は高齢や基礎疾患の存在が重症化のリスク因子であること¹⁾や, 重症患者の主な合併症とし

て急性呼吸窮迫症候群 (Acute Respiratory Distress Syndrome: 以下, ARDS)²⁾や肺線維化³⁾が報告されている。肺線維化は拡散障害, 拘束性換気障害を生じることで運動誘発性低酸素血症 (Exercise-Induced Hypoxemia: 以下, EIH) を呈する。また, 集中治療室 (Intensive Care Unit: 以下, ICU) で治療を受けた重症患者において散見される身体的後遺症に, ICU関連筋力低下 (Intensive Care Unit-Acquired Weakness: 以下, ICU-AW) がある⁴⁾。COVID-19重症例では高齢や基礎疾患による影響に加え, EIHやICU-AWによって退院後の生活に大きく影響を及ぼすことが予想される。

今回, COVID-19により重症ARDSを呈した, 重症化リスク因子を多く有する患者の理学療法を経験した。ARDSに対し可及的早期からの腹臥位療法を含めた呼吸理学療法を実施し, 人工呼吸器離脱後に認めたICU-AW, EIHに対し段階的な運動療法を実施した。その結果, ICU-AW, 日常生活動作 (Activities of Daily Living: 以下, ADL) の改善を認めたが, その一方で入院期間中においてEIHは遷延し, 運動耐容能の低下は残存した。本症例を通じて見出された理学療法の有効性と課題について報告する。

* The Effect of Pulmonary Physical Therapy and Exercise Therapy for a Sever COVID-19 Patient: Focused on Intensive Care Unit-acquired Weakness and Exercise Induced Hypoxemia

1) 兵庫医科大学病院リハビリテーション技術部

(〒663-8501 兵庫県西宮市武庫川町1-1)

Tetsu Seo, PT, Yohei Miyagi, PT, Ai Yanagida, PT, Naoki Sasanuma, PT, PhD: Department of Rehabilitation, Hyogo Medical University Hospital

2) 兵庫医科大学リハビリテーション学部

Koichiro Sota, PT, PhD: School of Rehabilitation, Hyogo Medical University

3) 株式会社プラスアール

Kojiro Tsuda, PT: Plus R CO., Ltd.

4) 兵庫医科大学リハビリテーション医学講座

Yuki Uchiyama, MD, PhD, Kazuhisa Domen, MD, PhD: Department of Rehabilitation Medicine, Hyogo Medical University

E-mail: cm.rock.0207@gmail.com

(受付日 2022年6月20日/受理日 2022年9月1日)

[J-STAGEでの早期公開日 2022年10月28日]

症例紹介

基本情報：72歳，男性，身長；175.0 cm，体重；65.2 kg，Body Mass Index (BMI)；21.3 kg/m²

診断名：COVID-19による重症ARDS

既往歴：慢性閉塞性肺疾患（Chronic Obstructive Pulmonary Disease：以下，COPD），陳旧性心筋梗塞，慢性心不全，慢性腎臓病，高血圧症

COVID-19ワクチン接種歴：なし

入院前ADL：屋外独歩自立

現病歴：2021年1月X日より咳嗽を認め仕事を休んでいたが，その後，全身倦怠感，呼吸苦が出現した。症状が改善しないためX+11日にA病院へ受診し，COVID-19のポリメラーゼ連鎖反応（Polymerase Chain Reaction：以下，PCR）検査が陽性と判明した。A病院受診時には，経皮的酸素飽和度（Percutaneous Oxygen Saturation：以下，SpO₂）は50%，動脈血酸素分圧（Partial Pressure of Arterial Oxygen：以下，PaO₂）は50mmHgと低酸素血症を認め，経口挿管による人工呼吸器管理が開始された。しかし，呼吸状態の改善が乏しいためX+12日に当院へ転院し，COVID-19専用病床であるEmergency Intensive Care Unit (EICU)へ入室し，隔離管理となった（第1病日）。人工呼吸器は圧制御—補助／調節換気（Pressure Control-Assist Control Ventilation：以下，PC-A/C）モードで設定され，薬物療法は抗ウイルス薬としてレムデシビル，抗炎症薬としてデキサメタゾン，抗凝固薬としてヘパリンナトリウムを投与された。また覚醒時に強い吸気努力，SpO₂の低下を認めたためプロポフォール，デクスメドミジン塩酸塩を投与され，Richmond Agitation Sedation Scale（以下，RASS）-4と，深い鎮静状態で管理された。

なお，倫理的配慮として，本症例に対し報告の目的と趣旨および個人情報の取り扱いについて説明し，同意を得た。

理学療法および経過

1. 腹臥位療法実施期間（第3病日から第8病日）

第3病日より理学療法を開始した。意識レベルは鎮静薬投与下（フェンタニル，デクスメドミジン塩酸塩，プロポフォール）にてRASS-4であった。Sequential Organ Failure Assessment（以下，SOFA）スコアは11点を呈しており，循環動態はノルアドレナリン投与下にて血圧（収縮期／拡張期）が92/59mmHg，心拍数が75bpm，心電図波形は洞調律であった。人工呼吸器の設定はPC-A/Cモードで吸入気酸素濃度（Fraction of Inspiratory Oxygen：以下，FIO₂）が0.6，吸気圧が16cmH₂O，呼気終末陽圧が10cmH₂Oで管理された。呼吸回数が16回/min，SpO₂が90%，一回換気量は700mL，PaO₂は58.2mmHg，動脈血二酸化炭素分圧（PaCO₂）は34.2mmHg，酸素化を示す指標であるPaO₂/FIO₂（以下，P/F）比は97mmHgと極めて不良な状態であった。第1病日の胸部CT画像（図1-a）では両側中葉にすりガラス

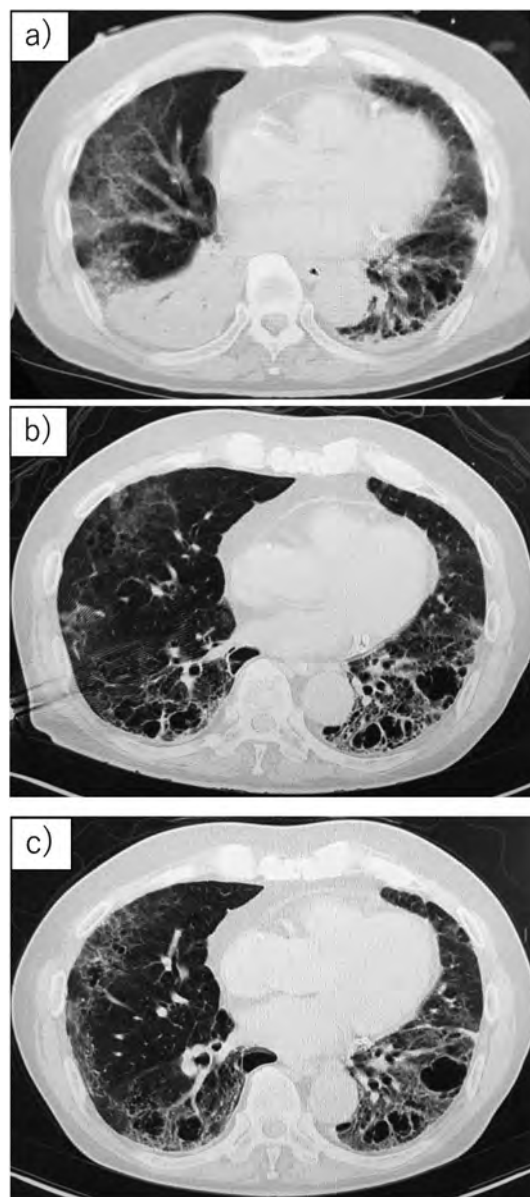
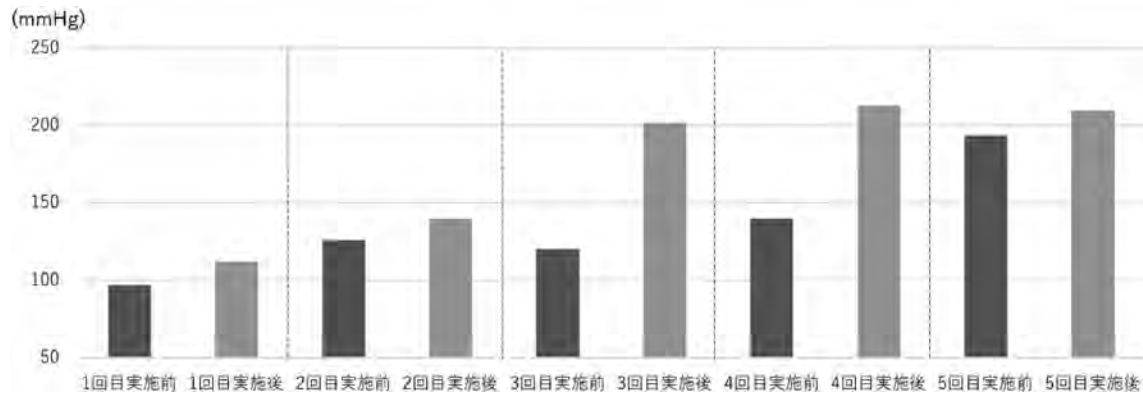


図1 胸部CT画像

a) 第1病日，b) 第15病日，c) 第35病日。a)と比べb)では下葉の浸潤影は改善されているが，すりガラス影，線維化像が出現しており，その後のc)においても残存を認める。

影，下葉に広範な浸潤影と，両側とも肺底部優位に著明な気腫性変化を認めた。これに加えて，発症からの症状の経過，P/F比の値からCOVID-19の感染を原因とする重症のARDSの状態であると主治医より判断された。この時期の理学療法では主に酸素化維持のための体位管理，排痰を中心とする呼吸理学療法を実施した。仰臥位，側臥位では酸素化が極めて不良であったため，主治医，病棟看護師と協議し，第3病日より腹臥位療法を開始した。腹臥位療法の実施プロトコルは先行報告⁵⁾に準拠した。腹臥位療法1回あたりの実施時間は16～17時間とし，腹臥位解除後の姿位においてP/F比が200mmHg以上となることを腹臥位療法の終了基準とした。腹臥位への体位変換は医師1～2名，看護師2～3名，理学療法士1～2名で行った。

図2 腹臥位療法中のPaO₂/FIO₂比の推移

PaO₂: 動脈血酸素分圧, FIO₂: 吸入気酸素濃度. 第3病日(1回目実施前)に開始し, 第8病日(5回目実施後)に終了した.



図3 運動療法の経過

ADL: Activities of daily living, HFNC: 経鼻高流量酸素療法.

腹臥位療法実施中は褥瘡予防のため2時間おきに体と枕およびベッド接触面との除圧を看護師が行った。腹臥位実施時, 人工呼吸器関連肺炎 (Ventilator-Associated Pneumonia: 以下, VAP) の発生を予防するため, 患者の口腔内には唾液持続吸引チューブを留置し, また胃内容物の逆流を防ぐため, 患者の腹部より頸胸部が高く位置するように配慮した。腹臥位解除後は, 酸素化の維持とVAPの予防のために完全側臥位, 頸部を軽度屈曲位で体位管理を行った。その結果, 徐々に酸素化の改善が得られ, 合計5回の腹臥位療法の実施により, 腹臥位解除後の姿勢においてP/F比が200mmHg以上で安定したため, 第8病日に腹臥位療法を終了した(図2)。腹臥位療法実施期間において, 腹臥位の継続が困難となるような有害事象の発生はなかった。

2. 離床開始から歩行開始までの期間(第8病日から第15病日)(図3)

腹臥位療法終了後, 人工呼吸器設定のウィーニングおよび鎮静薬の漸減が開始され, それにあわせて第8病日よりヘッドアップを開始した。先行研究を参考にし, 離床開始基準・中止基準を設定し⁶⁾⁷⁾, 離床プロトコル⁸⁾に則り, 四肢筋力の改善にあわせて段階的に離床した。理学療法では人工呼吸器のウィーニングと離床に伴う二重負荷に注意しながら, ヘッドアップを実施し, 第12病日に人工呼吸器を離脱した。当院への転院

前の期間をあわせて, 人工呼吸器管理期間は合計13日間であった。経鼻高流量酸素療法を終了し, 第14病日にオキシマス3L/minとなった。離床プロトコルは段階的に進行し, 第15病日に初回歩行器歩行を実施した。第15病日の意識レベルはGlasgow Coma ScaleでE4V5M6, Confusion Assessment Method for the ICUは陰性であり, 問題なく意思疎通可能であった。SOFAスコアは2点と敗血症性ショックは改善され, 血圧(収縮期/拡張期)105/59 mmHg, 心拍数90 bpm, 心電図波形は洞調律と循環動態は安定していた。また, 身体所見, 胸部X線画像からうっ血所見は認めなかった。胸部CT画像では, 初期で認めた両肺の浸潤影は減少し, 両側下葉に広範なすりガラス影, 胸膜直下中心に線維化を認めた。また, 背景肺にはびまん性に散在する気腫性変化を認めた(図1-b)。呼吸状態は, 安静時は鼻カヌーを使用し酸素3L/min投与下で呼吸回数が23回/min, SpO₂は97%であったが, 移乗動作後は呼吸回数が28回/minに上昇し, SpO₂は88%に低下したためEIHと考えられた。意識レベルの改善と離床範囲の拡大に伴い, 表1に示す身体機能評価を実施した。その結果, 筋力はMedical Research Council sum score (以下, MRC-ss)で合計44点(人工呼吸器離脱日には42点)とびまん性の筋力低下を認め, ICU-AWの基準を満たした。更衣, 整容動作などの自立度が低くFunctional Independence Measure (以下, FIM)は70点で

表1 身体機能推移

		歩行開始時			退院時
		第15病日	第22病日	第29病日	第39病日
筋力 (右/左)	握力 (kg)	25.1/23.1	30.4/31.1	29.1/29.3	30.0/30.9
	MRC-ss	44/60	46/60	53/60	56/60
	肩外転	4/4	4/4	5/5	5/5
	肘屈曲	4/4	4/4	5/5	5/5
	手背屈	4/4	5/5	5/5	5/5
	股屈曲	3/3	3/3	4/4	4/4
	膝伸展	4/4	4/4	4/4	5/5
	足背屈	3/3	3/3	3/4	4/4
	MMT				
	体幹屈曲	2	4	5	5
	股伸展	2/2	3/3	4/4	5/5
下肢機能	SPPB(12)	6	10	12	12
	バランス (/4)	3	4	4	4
	4 m 歩行速度(秒)	8.2	6.1	4.4	4.3
	5STS(秒)	25.2	13.6	8.6	7.3
運動耐容能	CS-30(回)	6	9	13	14
	6MWD (m)	—	300	260	285
			(歩行器)	(歩行器)	(歩行器)
	実施後				
	SpO ₂ (%)	—	89	89	90
	RR (回/分)	—	20	20	16
	HR (回/分)	—	105	105	100
	修正 Borg scale	—	6	6	4
FIM	Total(126)	70	86	110	112
	トイレ				
	移乗	1	5	7	7
	移動 (歩行)	1	4	6	6

FIM: Functional Independence Measure, MRC-ss: Medical Research Council sum score, MMT: Manual Muscle Testing, SPPB: Short Physical Performance Battery, 5STS: 5回立ち座りテスト, CS-30: 30秒椅子立ち座りテスト, 6MWD: 6分間歩行距離, SpO₂: 経皮的酸素飽和度, RR: 呼吸回数, HR: 心拍数.

あった。これらより、下肢筋力低下に伴う起立動作困難、COVID-19およびCOPDに由来するEIHが病棟ADLの低下に影響していると考えた。

3. 運動療法開始から転院までの期間(第16病日から第40病日)

第16病日からは短期目標をポータブルトイレへの移乗動作の自立とし、下肢筋力低下による起立動作困難に対し、筋力トレーニングと起立反復訓練を実施した。また、EIHに由来すると考えられる運動耐容能の低下に対し有酸素運動を実施した。急性期におけるCOVID-19患者に対する運動療法の効果については一定の見解が得られていないため、COPD患者に対する運動処方⁹⁾を参考に運動療法を実施した。運動療法の中止基準は、SpO₂<90%、呼吸回数≧35回/min、心拍数≧125 bpm(カルボーネン法にて算出)、修正Borg scale≧5に設定した。筋力トレーニング、起立反復訓練の運動強度は、1セッ

トあたり10~15回連続で実施可能な運動負荷とし、頻度は1日2~3セット、週5~6日実施した。筋力トレーニングの実施種目は、背臥位姿勢での足関節底背屈運動、ブリッジ運動、Straight Leg Raising、立位でのカーフレイズとした。起立反復訓練は上肢の支持なしで、ベッドからの起立運動とした。座面の高さを60 cmから開始し、能力に応じて、連続で10~15回を反復可能な高さに調整した。有酸素運動として歩行訓練を実施し、中止基準のいずれかの項目に当てはまった時点で終了とした。頻度は2~3セット/日、5~6日/週とした。なお、室内気では短距離の歩行で中止基準である修正Borg≧5、SpO₂<90%に該当したことから、主治医に相談し、4 L/min酸素投与下で歩行訓練を開始した。最大歩行距離を延長するため、歩行速度を調整し、また起立動作が自立で可能となるまでは歩行器の使用を継続した。下肢筋力、起立能力の向上により、第21病日より鼻カスラ1 L/min酸素投与下で病棟でのポータブルトイレ移

乗が看護師見守りで可能となった。第24病日には、PCR検査で2度の陰性確認をされ、一般病棟へ退室した。第25病日には軽介助下でトイレ歩行が可能となり、第31病日には独歩でトイレ歩行自立、第32病日に病棟歩行が自立した。この時期は修正Borg scaleで5以上を中止基準とし自主トレーニングを指導した。労作時の酸素投与量については、第15病日にオキシマスク4 L/minから開始し、第17病日から鼻カヌラ3 L/minとなった。第19病日時点で鼻カヌラ1 L/minでの独歩にてEIHが強く出現したため、3 L/minへの増量が必要であった(図3)。第35病日の胸部CT所見では、両側下葉にすりガラス影の残存を認めた(図1-c)。

MRC-ssは第29病日にICU-AWの基準を脱し、第39病日の最終評価(表1)では筋力、下肢機能、FIMで大きく改善を認めたものの、6分間歩行距離は大きな改善が得られなかった。EIHは残存し歩行時、理学療法時には鼻カヌラ3 L/minが必要であった。第40病日に転院した。

考 察

今回、COVID-19によって重症ARDSを呈した症例に対し、可及的早期より腹臥位療法を含む呼吸理学療法を実施した。腹臥位療法開始後に呼吸状態は徐々に改善を認め、第12病日に人工呼吸器を離脱した。人工呼吸器離脱後からはICU-AW、運動機能の低下に対し運動療法を実施し、第29病日にICU-AWの基準を脱し、第31病日に病棟ADLが自立し、第40病日に転院した。本症例は、65歳以上であることに加えて、既往にCOPD、慢性腎臓病、心血管疾患、高血圧症があり、COVID-19の重症化リスク因子⁴⁾を多く有しており、生存転帰をたどったがいくつかの課題が明らかとなった。

本症例はCOVID-19の感染によりARDSを呈していたことから、酸素化改善を目標に腹臥位療法を開始した。腹臥位療法はP/F比<150 mmHgの重症のARDSに適応され⁵⁾、生理学的作用としてシャント血の減少による換気血流比不均等のは正、肺リクルートメントによる肺換気量の増加、胸壁コンプライアンスの変化による腹側ガス分布の増加などが挙げられる¹⁰⁾。これらの生理学的作用により腹臥位では背臥位と比較し、酸素化の改善効果が報告されている¹¹⁾。COVID-19患者においても同様に、腹臥位療法の実施による酸素化の改善、腹臥位療法の反復による効果の持続が報告されている¹²⁾。本症例においても5回の腹臥位療法実施後、P/F比は背臥位の状態でも200 mmHg以上まで改善しており、先行報告と同様に酸素化の改善効果が得られた。そのため、COVID-19による重症ARDSにおいても、腹臥位療法の反復は酸素化改善に効果的であると考えられた。

ICU-AWはICU入室後に生じるびまん性筋力低下を総称した症候群であり、急性肺障害の生存者のうち、退

院時で36%の患者にICU-AWが残存すると報告されている¹³⁾。本症例は人工呼吸器離脱後、ICU-AWを呈していたものの、その後の経過でICU-AWの状態を脱し、病棟ADL自立まで改善した。ICU-AWの発生は人工呼吸器管理期間の遷延と関連しており¹⁴⁾、COVID-19患者を対象とした報告において人工呼吸器管理期間とICU-AWの発生率は正の相関関係にあったと報告されている¹⁵⁾。加えて、ICU-AW発生群における人工呼吸器管理期間の平均値は18.5±10.4日であり¹⁵⁾、人工呼吸器離脱時のMRC-ssの平均値は34.0±11.2/60点であると述べられている¹⁵⁾。また、COVID-19患者におけるICU-AWについて、ICU退室3ヶ月後にもMRC-ss低下の残存を認めたという報告もある¹⁶⁾。本症例の場合、人工呼吸器管理期間は13日で、人工呼吸器離脱時のMRC-ssは42点であった。これらのことから、可及的早期からの腹臥位療法を含めた呼吸理学療法の実施が、人工呼吸器の早期離脱、並びにICU-AWの予防につながり、その後の運動療法実施へと円滑に進められ、MRC-ssの改善、ADLの自立に寄与したことが考えられる。COVID-19においても病態に応じて、急性期からの呼吸理学療法、早期離床の実施が推奨されることが示唆される。

EIHについて、本症例は人工呼吸器離脱後、酸素投与を減量できていたが、その後再び酸素投与の増量が必要となった。その後の経過でもEIHは残存し、運動時には酸素投与が必要となった。第15病日の胸部CT画像から肺線維化所見を認め、第35病日においても残存を認めている。運動耐容能の指標である6分間歩行距離は入院中の経過では変化がなく、また、慢性呼吸器疾患患者に対する運動耐容能評価として有用とされる¹⁷⁾30秒椅子立ち座りテストについても、起立動作自立となった第25病日以降は変化がなく、運動耐容能の改善を認めなかった。先行研究において、COVID-19罹患後の後遺症として肺線維症が報告されている²⁾。COVID-19における肺線維化のメカニズムは十分に解明されていないが、発生リスクの予測因子として、高齢、炎症反応亢進、ARDSなどの影響が示唆されている¹⁸⁻²⁰⁾。また、COVID-19発症後6ヶ月時点における肺線維化²¹⁾、肺拡散能低下²²⁾、運動耐容能低下¹⁶⁾が示されている。本症例においては、第35病日の胸部CTにおいても肺の線維化所見であるすりガラス影が残存していることから、先行報告と同様にCOVID-19に起因する肺線維化が影響し、EIHと運動耐容能低下が残存したと考えられる。肺気腫患者を対象に疾患重症度とADL障害状況を検討した報告においては、重症になるにつれ労作時の呼吸困難感は強くなり、動作速度が障害されたと述べられている²³⁾。本症例においても、6分間歩行距離、30秒椅子立ち座りテストともにEIHにより歩行速度、動作速度を制限されていた可能性が考えられた。EIHの改善に関する報告は少ないが、COVID-19患者

を含む間質性肺疾患患者を対象に理学療法効果を検討したシステマティックレビューとメタ解析では、6~12週間の呼吸理学療法実施による6分間歩行距離の改善が報告されている²⁴⁾。本症例では6分間歩行距離の改善は得られなかった。これは、歩行訓練などの理学療法実施期間が約3週間と短かったことが考えられる。これらのことから、COVID-19患者に対しては、急性期病院退院後も継続した呼吸理学療法の実施が必要であると考えられた。また、肺線維化は炎症後の肺組織の修復過程で起こるため、本症例のように経過の中でEIHが遷延する場合もあり、急性期において呼吸状態が安定した後や、その後の回復期などにおける理学療法場面においても、EIHの残存に留意するべきと考えられた。

結 論

重症ARDSを呈したCOVID-19患者に対し、可及的早期からの呼吸理学療法、運動療法を病態に応じて段階的に実施した。本症例は重症化リスク因子を多く有していたが、腹臥位療法、呼吸理学療法の実施が、呼吸状態の改善、人工呼吸器の離脱に寄与した可能性がある。また、人工呼吸器を比較的早期に離脱できたことでICU-AWの影響を低減させることにつながり、その後の運動療法の奏功によって、四肢筋力、およびADLの速やかな改善に寄与したと考えられた。一方でEIH、運動耐容能の低下は退院時まで残存しており、COVID-19患者に対する、長期的な呼吸理学療法の必要性が示唆された。

利 益 相 反

本症例報告において開示すべき利益相反はない。

謝辞：本論文の作成にあたり、臨床業務においてお力添えをいただきました、救命救急センターの医師、看護師の方々に深く御礼を申し上げます。

文 献

- 1) Terada M, Ohtsu H, *et al.*: Risk factors for severity on admission and the disease progression during hospitalisation in a large cohort of patients with COVID-19 in Japan. *BMJ Open*. 2021; 11: e047007.
- 2) 厚生労働省. 新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) 診療の手引き・第6.2版. 2022. <https://www.mhlw.go.jp/content/000888608.pdf> (2022年3月16日引用)
- 3) Yao XH, Li TY, *et al.*: A pathological report of three COVID-19 cases by minimal invasive autopsies. *Zhonghua Bing Li Xue Za Zhi*. 2020; 49: 411-417.
- 4) Aerde NV, Berghe GV, *et al.*: Intensive care unit acquired muscle weakness in COVID-19 patients. *Intensive Care Med*. 2020; 46: 2083-2085.
- 5) Bein T, Bischoff M, *et al.*: Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin: Short version S2e guidelines: "Positioning therapy and early mobilization for prophylaxis or therapy of pulmonary function disorders". *Anaesthesist*. 2015; 64: 596-611.
- 6) 日本集中治療医学会早期リハビリテーション検討委員会: 集中治療における早期リハビリテーション—根拠に基づくエクスパートコンセンサス—. 2017; 24: 255-303.
- 7) Adler J, Malone D: Early mobilization in the intensive care unit: A systematic review. *Cardiopulm Phys Ther J*. 2012; 23: 5-13.
- 8) Morris PE, Goad A, *et al.*: Early intensive care unit mobility therapy in the treatment of acute respiratory failure. *Crit Care Med*. 2008; 36: 2238-2243.
- 9) 日本呼吸ケア・リハビリテーション学会呼吸リハビリテーション委員会ワーキンググループ, 日本呼吸器学会呼吸管理学会部会, 他: 呼吸リハビリテーションマニュアル—運動療法—(第2版). 日本呼吸ケア・リハビリテーション学会呼吸リハビリテーション委員会ワーキンググループ, 日本呼吸器学会呼吸管理学会部会, 他(編), 照林社, 東京都, 2012, pp. 48-49.
- 10) Luciano G, Mattia B, *et al.*: Prone positioning in acute respiratory distress syndrome. *Semin Respir Crit Care Med*. 2019; 40: 94-100.
- 11) Laveena M, Lorenzo DS, *et al.*: Prone position for acute respiratory distress syndrome. A systematic review and meta-analysis. *Ann Am Thorac Soc*. 2017; 14(Suppl. 4): s280-s288.
- 12) Kollias A, Kyriakoulis KG, *et al.*: Prone positioning in patients with COVID-19: Analysis of multicenter registry data and meta-analysis of aggregate data. *In Vivo*. 2022; 36: 361-370.
- 13) Fan E, Dowdy DW, *et al.*: Physical complications in acute lung injury survivors: A two-year longitudinal prospective study. *Crit Care Med*. 2014; 42: 849-859.
- 14) Medrinal C, Combret Y, *et al.*: ICU outcomes can be predicted by noninvasive muscle evaluation: A meta-analysis. *Eur Respir J*. 2020; 56: 1902482.
- 15) Medrinal C, Prieur G, *et al.*: Muscle weakness, functional capacities and recovery for COVID-19 ICU survivors. *BMC Anesthesiol*. 2021; 21: 64.
- 16) Gassel RJJ, Bels J, *et al.*: Functional outcomes and their association with physical performance in mechanically ventilated coronavirus disease 2019 survivors at 3 months following hospital discharge: A cohort study. *Crit Care Med*. 2021; 49: 1726-1738.
- 17) 岩井宏治, 林 秀樹, 他: 慢性呼吸器疾患患者に対する運動耐容能評価としての30秒椅子立ち上がりテストの有用性. 日本呼吸ケア・リハビリテーション学会誌. 2012; 22: 105-109.
- 18) Yu M, Liu Y, *et al.*: Prediction of the development of pulmonary fibrosis using serial thin-section CT and clinical features in patients discharged after treatment for COVID-19 pneumonia. *Korean J Radiol*. 2020; 21: 746-755.
- 19) Susanto AD, Triyoga PA, *et al.*: Lung fibrosis sequelae after recovery from COVID-19 infection. *J Infect Dev Ctries*. 2021; 15: 360-365.
- 20) Rumende CM: Pulmonary fibrosis caused by severe COVID-19 infection: Discharge may not be the end of treatment. *Acta Med Indones*. 2021; 53: 141-142.
- 21) Liao X, Li D, *et al.*: Pulmonary sequelae in patients after recovery from coronavirus disease 2019: A follow-up study with chest CT. *Front Med (Lausanne)*. 2022; 8: 686878.
- 22) Magdy DM, Metwally A, *et al.*: Long-term COVID-19 effects on pulmonary function, exercise capacity, and health status. *Ann Thorac Med*. 2022; 17: 28-36.
- 23) 後藤葉子, 上月正博, 他: COPD重症度別にみた肺気腫患者の日常生活における障害. 日本呼吸ケア・リハビリテーション学会誌. 1999; 2: 153-159.
- 24) Reina-Gutiérrez S, Torres-Costoso A, *et al.*: Effectiveness of pulmonary rehabilitation in interstitial lung disease, including coronavirus diseases: A systematic review and meta-analysis. *Arch Phys Med Rehabil*. 2021; 102: 1989-1997.e3.

講座

シリーズ 「自主トレーニング指導・処方における工夫」

連載第6回 がん患者に対する自主トレ指導のポイントと注意点*

井上順一郎¹⁾

はじめに

1981年以降、がんは日本人の死因の第1位であり、年間死亡者数は378,385人（2020年）、また、新たにがんと診断された患者は999,075人（2019年）である¹⁾。一方、診断技術や治療技術の進歩により長期生存も見込めるようになり、5年相対生存率（2009～2011年の診断例）は64.1%と年々向上している¹⁾。それに伴い、がん治療を終了した患者、または治療中の患者（いわゆる「がんサバイバー」）も増加しており、1999年では298万人、2015年では500万人を超え、その後さらに毎年60万人ずつ増加し、現在では700万人以上のがんサバイバーが日常生活を送っている²⁾。

しかしながら、これらのがんサバイバーのなかには身体・精神症状や機能障害のため日常生活に何らかの支障や制限が生じている者も存在する。特に化学療法や放射線療法を施行中・施行後のがん患者は、原疾患の進展や治療の有害事象などにより身体活動が低下することで廃用症候群を発症し、日常生活活動（Activities of Daily Living：以下、ADL）に制限が生じるリスクが高い。また、近年の人口の高齢化に伴い高齢がん患者も増加しており、治療開始前より老年症候群やフレイル、サルコペニアを有している者も多い。そのため、治療開始前から治療中、治療後の療養生活にかけてシームレスにリハビリテーションを実施し、廃用症候群の発症やADLの低下を予防・改善する必要がある。また、入院治療が終了し自宅へ退院したがん患者、または、外来にて治療を継続しているがん患者が、より生活の質（Quality of Life：以下、QOL）の高い日常生活を送るためにも、身体活動を維持・増加し、より高いADLを維持する必要がある。

しかし、現在の診療報酬の「がん患者リハビリテーション料」では入院中のリハビリテーションの算定のみが認められており、外来でのリハビリテーションの算定は認められていない。また、通所リハビリテーション利用者のうちがん患者の割合は3.1%、訪問リハビリテーションでは4.6%と在宅サービスにおいてもがん患者に対するリハビリテーションの提供は十分ではなく³⁾、退院後のリハビリテーションは患者の自主トレーニングに委ねられることが多い。

本稿では、化学療法や放射線療法を施行中・施行後のがん患者に生じやすい身体・精神症状や機能障害を整理するとともに、がん患者がより安全に、かつ効果的な運動（自主トレーニング）を継続するためのポイントと注意点（リスク管理）について概説する。

化学療法・放射線療法施行中・施行後に生じる有害事象・機能障害

化学療法や放射線療法施行中・施行後においては、治療に伴うさまざまな有害事象が生じる可能性がある。そのため、運動（自主トレーニング）プログラムを処方する際のリスク管理の一環として治療に伴う有害事象についての理解が必要である。

化学療法では、骨髄抑制（白血球減少、赤血球・ヘモグロビン減少、血小板減少）、嘔気・嘔吐、全身倦怠感、末梢神経障害、筋痛・関節痛などの有害事象が高頻度に認められる。また、腎機能障害や心機能障害、肺障害などの重篤な有害事象が生じることもある（表1）。放射線療法では、急性反応として、全身反応の放射線宿酔、局所反応の血管透過性亢進による脳浮腫・喉頭浮腫・気道浮腫、口腔・咽頭粘膜障害、消化管障害、皮膚炎などが生じる。また、晩期反応として、脳壊死・脊髄障害・末梢神経障害などの神経系障害、皮下結節、リンパ浮腫、大腿骨頭壊死・肋骨骨折などの骨障害、口腔内乾燥症・開口障害などの口腔・唾液腺障害、咽頭・喉頭障害などが生じることがある（表2）。急性反応は可逆性であるが、晩期反応は不可逆性であり回復が困難なことが多い。

* Self-exercise Instruction for Patients with Cancer Following Chemotherapy and Radiation Therapy

1) 神戸大学医学部附属病院国際がん医療・研究センターリハビリテーション部門
〒650-0047 兵庫県神戸市中央区港島南町1-5-1)
Junichiro Inoue, PT, PhD: Division of Rehabilitation Medicine, Kobe University Hospital International Clinical Cancer Research Center
キーワード：がん、化学療法、放射線療法、身体活動、運動

表1 化学療法の有害事象

種類	症状
過敏反応 インフュージョン・リアクション 骨髄抑制	発疹, 血管性浮腫, 気管支攣縮, 低血圧, 溶血性貧血, 悪心, 頭痛, 頻脈など 白血球 (好中球) 減少: 易感染 赤血球減少: 貧血 血小板減少: 出血
消化器症状 循環器症状 呼吸器症状 神経症状 その他	悪心・嘔吐, 下痢, 便秘, 口内炎, 味覚障害, 食道炎 心筋障害, うっ血性心不全, 不整脈, 高血圧, 静脈血栓症 間質性肺炎, 気管支攣縮 末梢神経障害, 自律神経障害, 聴力低下, 味覚障害 肝障害, 腎障害, 皮膚障害, 全身倦怠感, 精神症状

表2 放射線療法の有害事象

急性反応 (急性期有害事象)	全身的	放射線宿酔, 全身倦怠感, 食欲不振, 骨髄抑制
	局所的	頭部: 頭痛, 目眩, 脱毛, 悪心・嘔吐 口腔・頸部: 口腔粘膜炎症・乾燥, 味覚障害 肺・縦隔・乳房: 食道炎, 放射線肺臓炎 腹部・骨盤: 悪心・嘔吐, 腹痛, 下痢, 排尿障害 消化管: 潰瘍, 穿孔 その他: 皮膚炎, 色素沈着
晩期反応 (晩期有害事象)	全身的	二次性発がん
	局所的	頭部: 難聴, 顔面神経麻痺, 脳障害, 下垂体機能低下 肺・縦隔・乳房: 間質性肺炎, 心外膜炎, 上肢リンパ浮腫 腹部・骨盤: 下肢リンパ浮腫, 不妊, 肝障害, 腎障害

このような有害事象に加え, さらに疼痛や栄養障害, 睡眠障害, 不安・抑うつなどの精神的障害が重複することにより, 化学療法や放射線療法を施行中・施行後のがん患者では身体活動や身体機能の低下が生じるリスクが高い。身体活動や身体機能の低下は日常生活での活動時の疲労をさらに増大させ, 二次的な身体機能の低下や体力低下を引き起こしてしまう。その結果, ADLや家事, 仕事, 余暇活動などの手段的日常生活活動 (Instrumental Activities of Daily Living: IADL) や社会活動が制限され, がん患者のQOLは著しく低下する。そのため, 化学療法や放射線療法を施行中・施行後のがん患者においては, 治療開始後のできるだけ早期よりリハビリテーションを開始し, 治療後の在宅での療養生活中もシームレスにトレーニングを継続することで, 機能障害やADL低下を予防することが重要である。

高齢がん患者が抱える問題

わが国のがん患者の約70%が65歳以上の高齢者であり, その割合は年々増加している⁴⁾。高齢がん患者は, 加齢に伴い併存疾患数が増加するとともに, 尿失禁, 転倒, 体重減少, 目眩, 視力低下などさまざまな病態 (いわゆる「老年症候群」) も重複して有している。これらの病態を1つ以上有する高齢者ではADL低下のリスクは増加し, 複数有するとそのリスクはさらに増加する⁵⁾。つまり, 高齢がん患者はがんに罹患したときにすでに老年症候群に陥っており, ADLが低下している可能性が高い。さらに, 併存疾患による内服薬の増加 (ポリファーマシー), 認知機能の低下や抑うつなどの精神・心理的な問題, 家族形態や経済状況などの社会的問題も存在する。

近年, 老年医学の分野では, 高齢者の健康寿命や要介護状態に影響を与える要因としてフレイルが注目されている。がん医療の領域においても, フレイルが高齢がん患者の治療に及ぼす影響について検証されるようになってきている。特に化学療法や放射線療法を施行される高齢がん患者は, 老年症候群を合併しフレイルに陥っている可能性が高く, さらに複数の併存疾患に伴う多剤併用や加齢による薬物の代謝および排泄機能の低下などにより有害事象の発症・増悪のリスクが増大する。また, 治療開始前から存在するフレイルが化学療法・放射線療法の完遂率の低下や治療関連毒性の増大と関連があると報告されており⁶⁾, 高齢がん患者の治療に及ぼすフレイルの悪影響が明らかにされている。そのため, 高齢がん患者においては, 治療開始前よりフレイルの有無を評価する必要がある。アメリカ臨床腫瘍学会 (American Society of Clinical Oncology: ASCO) のガイドライン⁷⁾では, 化学療法を施行される65歳以上の高齢がん患者では, 治療開始前に高齢者機能評価 (Geriatric Assessment: GA) を用いて身体機能, 併存疾患, 転倒歴, 抑うつ, 認知機能, 栄養状態を評価することが推奨されている。また, 化学療法毒性の予測のためにGeriatric 8 (G8) やVulnerable Elder Survey-13 (VES-13) などのスクリーニングツールを用いることが推奨されている⁷⁾。一方, 化学療法や放射線療法施行中に運動を実施した65歳以上の高齢が

ん患者では、治療中の息切れや自覚的健康観が良好であり、また、運動を実施した80歳以上の高齢がん患者では記憶力が維持でき、自覚的健康観が良好であったと報告されている⁸⁾。したがって、化学療法や放射線療法施行中・施行後の高齢がん患者においては、フレイルによる全身状態 (Performance Status : PS) の低下が有害事象の増加や治療の完遂率の低下につながり、生命予後などの転機にも影響を与えるため、治療開始前よりフレイルの評価を行うとともに、評価結果に基づき積極的にリハビリテーションを継続して行うことが重要である。

がん患者における運動 (自主トレーニング) プログラム処方の実際

1. 運動 (自主トレーニング) 実施時のリスク管理

2010年にアメリカスポーツ医学会 (American College of Sports Medicine : 以下、ACSM) が発表した『がんサバイバーのための運動ガイドライン』⁹⁾では、化学療法や放射線療法などのがん治療中や治療後であっても、リスク管理を行えば運動は安全に実施でき、また、リンパ浮腫を有する、または、リンパ浮腫の発症リスクがある乳がんサバイバーにおいても安全にレジスタンストレーニングを実施できると述べられている⁹⁾。運動 (自主トレーニング) 実施の際のリスク管理については、がん患者における以下のリハビリテーション中止基準を考慮する¹⁰⁾。

- ① 血液所見 : ヘモグロビン 7.5 g/dL 以下、血小板 50,000/ μ L 以下、白血球 3,000/ μ L 以下
- ② 骨皮質の 50% 以上の浸潤、骨中心部に向かう骨びらん、大腿骨の 3 cm 以上の病変などを有する長管骨の転移所見
- ③ 腸管・膀胱・尿管などの臓器、血管、脊髄の圧迫
- ④ 疼痛、呼吸困難、運動制限を伴う胸膜、心嚢、腹膜、後腹膜への浸出液貯留
- ⑤ 中枢神経系の機能低下、意識障害、頭蓋内圧亢進
- ⑥ 低・高カリウム血症、低ナトリウム血症、低・高カルシウム血症
- ⑦ 起立性低血圧、160/100 mmHg 以上の高血圧
- ⑧ 110 拍/分以上の頻脈、心室性不整脈

また、運動 (自主トレーニング) を実施する際には以下の項目にも注意する¹¹⁾。

1) 貧血

ヘモグロビンが 10 g/dL 未満の場合には、運動時の貧血症状に注意する。重度の貧血状態にある患者は、貧血が改善するまでは ADL 以外の身体活動を制限する

2) 骨髄抑制

免疫機能が低下している患者 (特に好中球 500/ μ L 以下の場合) は、白血球が回復するまで公共のスポーツセンターやスイミングプールでの運動を避ける。好中球 1,000/ μ L 以上、白血球 3,000/ μ L 以上であれば、安心して

運動が可能である

3) 出血傾向

血小板 10,000/ μ L 以下は出血のリスクが高いため運動は実施しない。20,000/ μ L 以下では筋肉出血を考慮し、高負荷のレジスタンストレーニングは避け有酸素運動中心に実施する。血小板 30,000/ μ L 以上あれば運動の制限は必要ない

4) 全身倦怠感

治療による重度の倦怠感により運動の意欲が低下している患者には、毎日 10 分間程度の軽度の運動を勧める

5) 放射線療法

放射線療法施行中の患者は、スイミングプールの水のように塩素を含む物質が照射部の皮膚に触れることを避ける

6) カテーテルやフィーディング (栄養) チューブの留置

プールや川、海などの微生物が多い環境への接触は感染を招く危険性が高く避ける。同様に、偶発的な抜去事故を防ぐために、カテーテル留置部のレジスタンストレーニングは避ける

7) 身体活動

身体活動の低い患者は、ストレッチやゆっくりとしたウォーキングのような低強度の身体活動から開始し徐々に負荷や活動性を上げていく

8) その他

骨転移や骨粗鬆症、変形性関節症や末梢神経障害、運動失調などの重大な障害を合併している患者は、身体活動による転倒や外傷のリスクを減らすために安全面に細心の注意を払う

2. 運動 (自主トレーニング) プログラムの内容

化学療法や放射線療法施行中・施行後では治療の有害事象などの影響で身体活動を低強度や短時間に制限する必要がある。がんサバイバーにおける効果的な身体活動および運動内容については種々のガイドラインにて推奨されているものがある。

2022年に発表されたアメリカがん協会 (American Cancer Society : ACS) による『がんサバイバーのための栄養と身体活動のガイドライン』¹²⁾では、がんの診断あるいは治療後のできるだけ早期から不活動を避け、定期的な身体活動や通常の日常生活活動を行うことを推奨している。運動を目的とした身体活動の目標は、成人は1週間あたり 150~300 分の中等度の強度の有酸素運動、もしくは、1週間あたり 75~150 分の高強度の有酸素運動を行うとともに、週2回以上のレジスタンストレーニングを行うことが推奨されている。また、上限である 300 分を満たすか超えるように努めることが理想的であるとされている。また、65 歳以上の高齢がんサバイバーにお

いても、可能であれば同等の身体活動を維持すること、慢性疾患などで活動性に制限がある場合は、不活動の時間をできるだけ避け、身体活動を能力に応じて可能な限り維持・増加させることが推奨されている。

運動（自主トレーニング）内容は、レジスタンストレーニング、有酸素運動、またはその併用が推奨されている。また、FITT（頻度：frequency、強度：intensity、持続時間：time、内容：type）を考慮して運動プログラムを処方する⁹⁾¹²⁾。

1) レジスタンストレーニング

レジスタンストレーニングでは、運動頻度を週3～5回に設定し、運動強度は1最大反復回数（Repetition Maximum：以下、RM）の60～70%の強度とする。各種の運動を8～12回を1～2セット行い、12回以上実施できるようになったら運動強度を10%ずつ漸増していく。運動の持続時間はレジスタンストレーニングでは設定しない。運動内容は大きい筋群を中心とした全身の筋肉のレジスタンストレーニングが推奨される。これは、がん患者に生じる筋力低下は廃用性筋萎縮や低栄養、悪液質による蛋白質異化亢進が主体となって全身に生じるためである。

臨床研究では、膝・股関節周囲筋、下腿三頭筋、大胸筋・広背筋、上腕二頭筋・三頭筋、腹背筋などのレジスタンストレーニングを組み合わせたマシントレーニングが多く、1RMでの運動強度の設定も煩雑であるため、自宅での自主トレーニングでは実用的ではない。そのため、自重や重錘、エクササイズバンドなどを用いて簡単かつ効果的に継続可能なトレーニングを行うための工夫が必要である。具体的には、運動強度は自覚症状にて調整し、運動後に軽く筋疲労を自覚する程度が妥当である。先行研究では、自主トレーニングの運動強度の設定に自覚的運動強度であるBorgスケールを使用すること

が提案されている¹³⁾。この研究では、Borgスケールが14～16（13「ややきつい」、15「きつい」）となるように運動を行い、患者は疼痛や疲労、気分やストレスを毎日評価して自己の体調を3段階で分類する。段階に応じて運動強度を調整することで、高い自主トレーニング継続率（87%）が達成できたことを報告している¹³⁾。

2) 有酸素運動

有酸素運動では、運動頻度は週3～5回、1回の運動の持続時間は20～30分とする。運動内容はエルゴメーターやトレッドミルだけでなく、ウォーキングでも効果がある。運動強度は自覚的運動強度や目標心拍数を参考に設定する。Borgスケールが6～11（7「非常に楽である」、11「楽である」）、最大心拍数（220－年齢）の30～54%の運動強度が低強度、Borgスケールが12～13、最大心拍数の55～70%の運動強度が中等度、Borgスケールが14～19（19「非常にきつい」）、最大心拍数の71～95%の運動強度が高強度である。Borgスケールが11～13、目標心拍数が最大心拍数の80%程度の中～高強度の運動でもリスク管理を行えば安全に実施できる。有酸素運動の効果には量-反応関係があるため、患者個人の身体機能や運動時のリスク、がんやその他の併存疾患の状態や治療状況を確認した上で、許容される状態であれば高強度のトレーニングも考慮すべきである。2019年に発表されたACSMによるガイドラインでは、中等度以上の運動強度で有酸素運動を行う場合は、運動負荷試験により心大血管リスク（血圧変動や心電図の変化）と運動耐容能（無酸素閾値：AT値）の評価を行うことが推奨されている¹⁴⁾。

3. 運動（自主トレーニング）プログラム処方方法

ACSMのガイドライン⁹⁾に基づき提唱されている運動

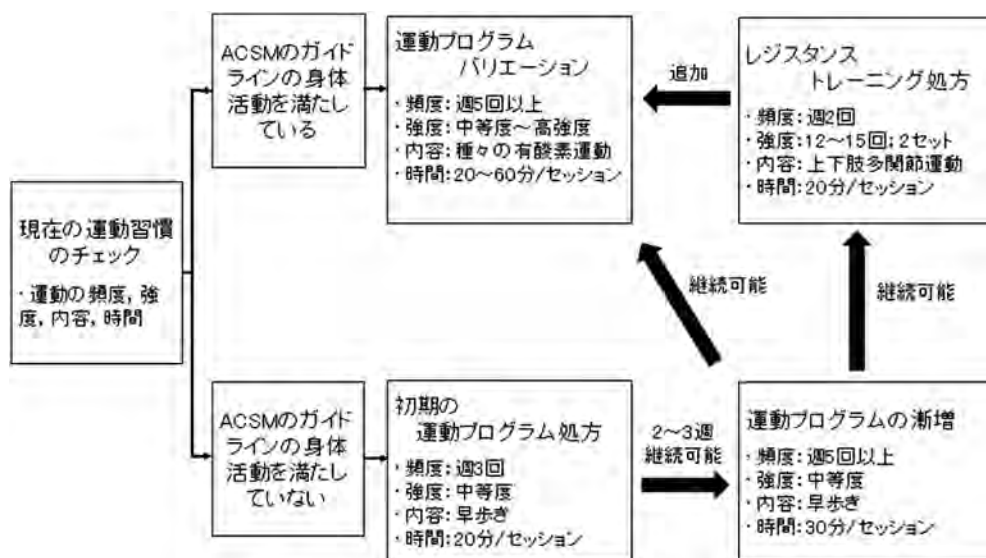


図1 運動（自主トレーニング）プログラム処方のフロー
（文献15をもとに改変・作図）

(自主トレーニング) プログラム処方フローを図1に示す¹⁵⁾。

ACSMのガイドライン⁹⁾で示されている身体活動(1週間あたり150分以上の中等度の強度の有酸素運動、もしくは、1週間あたり75分以上の高強度の有酸素運動)をすでに実施している者に対しては、現状の身体活動を維持することを推奨する。また、運動の強度、頻度、時間、内容を2~3週間毎にバリエーションをもたせることにより脱落せずに運動(自主トレーニング)の継続が可能となる。有酸素運動が習慣的な活動となっている場合は、レジスタンストレーニングの追加を提案する。

一方、ACSMのガイドラインに示されている身体活動を満たしていない者に対しては、図1中の「初期の運動プログラム処方」の内容を指導し、2~3週継続可能かを評価する。運動の継続が可能であれば、中等度の強度の有酸素運動を1週間あたり150分以上となるように徐々に身体活動を漸増する。ACSMのガイドラインに示されている身体活動を12週以上継続可能な者に対しては、レジスタンストレーニングと種々の有酸素運動をプログラムに追加する。

また、自主トレーニングでは、運動負荷試験などを用いた運動強度の設定は困難である。そのため、自主トレーニングでの運動強度の設定ではトークテスト(Talk-test)が有用である。トークテストでの中等度の強度の運動とは、少し息切れはするが快適に会話ができる程度の運動であり、高強度の運動は息切れのため快適な会話ができない程度の運動であると定義されている¹⁵⁾。

がん患者における運動(自主トレーニング)の効果

がんサバイバーの身体活動や運動(自主トレーニング)の効果については、さまざまな先行研究やガイドラインにて報告されている。

ACSMのガイドラインでは、乳がん、前立腺がん、血液腫瘍のがんサバイバーでは、運動により全身体力、筋力、QOL、疲労感の改善が期待できると述べられている⁹⁾。また、わが国の『がんのリハビリテーション診療ガイドライン第2版』においても「化学療法・放射線療法中の患者に対して、リハビリテーション治療(運動療法)を実施することを推奨する」とされており、治療中の運動が身体活動や身体機能、倦怠感、QOLなどの改善に有用であることが示されている¹⁶⁾。

先行研究では、非監視下での運動(自主トレーニング)の効果として、化学療法中の乳がん患者に歩数計を用いて身体活動を評価しながら、1回30分、週5回のウォーキングを中心とした自主トレーニングを行うことにより、身体活動(General Practice Physical Activity Questionnaireにて評価)が有意に増加したこと¹⁷⁾や、ア

ンドロゲン遮断療法(Androgen Deprivation Therapy: ADT)中の前立腺がん患者に対する有酸素運動と低強度のレジスタンストレーニングを組み合わせた16週の自主トレーニングにより、筋力や身体活動(Godin's Leisure Score Index: LSIにて評価)が増加したこと¹⁸⁾が報告されており、ウォーキングなどの低強度の運動やホームエクササイズなどの身体活動を増加させるための自主トレーニング指導は有用であると考えられる。

また、閉経後乳がん患者に関するコホート研究では、がん診断前の身体活動が低くても、診断後に9METs-hour/week以上の身体活動を維持できた患者では、有意に全死亡リスクの低下が認められたと報告されている¹⁹⁾。また、わが国の『科学的根拠に基づく乳癌診療ガイドライン2018年版』でも、「乳癌診断後の身体活動が高い女性では、全死亡リスク・乳がん死亡リスクが減少することは確実である。診断後の身体活動を高く維持することを強く推奨する」とされており²⁰⁾、がんサバイバーにおいては身体活動が生命予後などの転帰にも好影響を及ぼすことが示されている。

まとめ

化学療法や放射線療法を施行中・施行後でもリスク管理を行えば運動(自主トレーニング)は安全に実施できる。がんサバイバーでは、運動(自主トレーニング)による身体活動の維持・増加が、身体機能やADLの維持・改善だけではなく、生命予後などの転帰にも好影響を及ぼすため、積極的かつ継続的な運動(自主トレーニング)の実施が望まれる。

文 献

- 1) 国立がん研究センターがん情報サービス. 最新がん統計. https://ganjoho.jp/reg_stat/statistics/stat/summary.html (2022年8月13日引用)
- 2) 厚生労働省. 国立研究開発法人審議会高度専門医療研究評価部会(第2回)配付資料(平成27年8月4日). <https://www.mhlw.go.jp/stf/shingi2/0000093686.html> (2022年8月13日引用)
- 3) 一般社団法人全国デイ・ケア協会. 通所・訪問リハビリテーションの目的を踏まえた在り方に関する調査研究事業報告書. 令和元年度厚生労働省老人保健健康推進等国庫補助金事業. <https://day-care.jp/wp/wp-content/uploads/fa15e10924242c4141492d390f170c41.pdf> (2022年8月13日引用)
- 4) 厚生労働省. がん登録 全国がん登録罹患数2016年速報, 2019年. https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kenkou_iryuu/kenkou/gan/gan_toroku.html (2022年8月13日引用)
- 5) Cigolle CT, Langa KM, *et al.*: Geriatric conditions and disability: The health and retirement study. *Ann Intern Med.* 2007; 147: 156-164.
- 6) Handforth C, Clegg A, *et al.*: The prevalence and outcomes of frailty in older cancer patients- a systematic review. *Ann Oncol.* 2015; 26: 1091-1101.
- 7) Mohile SG, Dale W, *et al.*: Practical assessment and management of vulnerabilities in older patients receiving chemotherapy:

- ASCO guideline for geriatric oncology. *J Clin Oncol*. 2018; 36: 2326–2347.
- 8) Sprod LK, Mohile SG, *et al.*: Exercise and cancer treatment symptoms in 408 newly diagnosed older cancer patients. *J Geriatr Oncol*. 2012; 3: 90–97.
 - 9) Schmitz KH, Courneya KS, *et al.*: American College of Sports Medicine: American College of Sports Medicine roundtable on exercise guidelines for cancer survivors. *Med Sci Sports Exerc*. 2010; 42: 1409–1426.
 - 10) DeLisa JA, Gans BM, *et al.*: (eds): *Rehabilitation medicine: Principles and practice*. 3rd ed, Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, 1998, pp. 1293–1317.
 - 11) 日本がんリハビリテーション研究会編：がんのリハビリテーション診療ベストプラクティス第2版. 金原出版, 東京, 2020, p. 228.
 - 12) Rock CL, Thomson CA, *et al.*: American Cancer Society nutrition and physical activity guideline for cancer survivors. *CA Cancer J Clin*. 2022; 72: 230–262.
 - 13) Wiskemann J, Dreger P, *et al.*: Effects of a partly self-administered exercise program before, during, and after allogeneic stem cell transplantation. *Blood*. 2011; 117: 2604–2613.
 - 14) Campbell KL, Winters-Stone KM, *et al.*: Exercise guidelines for cancer survivors: Consensus statement from international multidisciplinary roundtable. *Med Sci Sports Exerc*. 2019; 51: 2375–2390.
 - 15) Jones LW, Eves ND, *et al.*: Pre-exercise screening and prescription guidelines for cancer patients. *Lancet Oncol*. 2010; 11: 914–916.
 - 16) 公益社団法人日本リハビリテーション医学会・がんのリハビリテーション診療ガイドライン改訂委員会編：がんのリハビリテーション診療ガイドライン第2版. 金原出版, 東京, 2019, pp. 220–232.
 - 17) Gokal K, Wallis D, *et al.*: Effects of a self-managed home-based walking intervention on psychosocial health outcomes for breast cancer patients receiving chemotherapy: A randomized controlled trial. *Support Care Cancer*. 2016; 24: 1139–1166.
 - 18) Culos-Reed SN, Robinson JW, *et al.*: Physical activity for men receiving androgen deprivation therapy for prostate cancer: Benefits from a 16-week intervention. *Support Care Cancer*. 2010; 18: 591–599.
 - 19) Irwin ML, McTiernan A, *et al.*: Physical activity and survival in postmenopausal women with breast cancer: Results from the women's health initiative. *Cancer Prev Res (Phila)*. 2011; 4: 522–529.
 - 20) 日本乳癌学会. 科学的根拠に基づく乳癌診療ガイドライン 2018年版. <http://jbcsg.jp/guideline/2018/index/ekigakuyobo/cq9/> (2022年8月23日引用)

《 投稿規定 》

1. 「理学療法学」の目的

- ①理学療法学および関連する分野の研究を公表し、理学療法学を発展させる。
- ②理学療法士の卒後継続教育に資する教育的な論文を掲載する。
- ③理学療法の発展に関する記録や資料を掲載する。

2. 記事の種類

- ①研究論文（原著）：新規性および独創性があり、明確な結論を示した論文
- ②症例研究：症例の臨床的問題や治療結果について科学的に研究を行い、考察を行った論文
- ③短報：研究の速報・略報として簡潔に記載された短い研究論文
- ④その他：システマティックレビュー、症例報告、実践報告、調査報告など編集委員会で掲載が適切と判断された論文および記事（なお、症例報告とは症例の治療および経過などについて論理的に提示し、考察を行ったもの。実践報告とは、理学療法の研究・教育・臨床等の実践の中で、新たな工夫や介入、結果等について具体的かつ客観的に情報提示し、その内容が有益と判断されたもの）

3. 投稿者の資格

理学療法学（以下、「本誌」という。）への投稿は、一般社団法人 日本理学療法学会連合（以下、「本連合」という。）に寄与する論文であれば会員に限らず投稿を受理する。著者資格については註1および執筆規定を参照すること。

4. 投稿原稿の条件

投稿原稿は、他誌に発表、または投稿中の原稿でないこと。本規定および執筆規定にしたがって作成すること。

5. 投稿承諾書

著者の論文への責任および著作権譲渡の確認のため、別紙の投稿承諾書に自筆による署名をして提出すること。

6. 利益相反

すべての著者は利益相反の可能性がある事項（コンサルタント料、株式所有、寄付金、特許など）がある場合は本文中に記載すること。なお、利益相反に関しては本連合が定める「利益相反の開示に関する基準」を遵守すること。

7. 著作権

本誌に掲載された論文の著作権は、本連合に属する。また、本誌に掲載された論文はオンライン公開される。

8. 研究倫理

ヘルシンキ宣言および厚生労働省の「人を対象とする生命科学・医学系研究に関する倫理指針」などの医学研究に関する指針（註2）に基づき対象者の保護には十分留意し、説明と同意などの倫理的な配慮に関する記述を必ず行うこと。

また、研究にあたり、所属研究機関あるいは所属施設の

倫理委員会ないしそれに準ずる機関の承認を得ることを必須とし、倫理審査委員会名および承認番号（または承認年月日）を必ず記載すること。なお、倫理審査委員会より承認の非該当となった場合には、その旨を記載する。

9. 原稿の採択

原稿の採否は複数の査読者の意見を参考に編集委員会において決定する。査読の結果、編集方針にしたがって原稿の修正を求めることがある。修正を求められた場合は2ヵ月以内に修正稿を再提出すること。提出期限を超過した場合は新規投稿論文として扱われる。また、必要に応じて編集委員会の責任において字句の訂正を行うことがある。

10. 校正

著者校正は原則として1回とし、誤字脱字を除く文章および図表の変更は原則として認めない。

11. 掲載に関する費用

規定の分量の範囲内までは無料掲載するが、超過した場合は超過分に要した実費を徴収する場合がある。

理学療法士の免許を有する公益社団法人日本理学療法士協会（以下、「協会」という。）の非会員および休会者の投稿には審査料と掲載料を徴収する。詳細は別に定める。なお、協会の会員権利が停止している会員の投稿についても同様に審査料と掲載料を徴収する。

12. 原稿送付方法および連絡先

1) 原稿送付方法

本学会の運用するオンライン投稿システムから投稿すること。原稿書式など詳細は執筆規定に定める。

2) 問合せ先

〒106-0032 東京都港区六本木7-11-10

公益社団法人 日本理学療法士協会内

一般社団法人 日本理学療法学会連合

「理学療法学」編集室

TEL: 03-6804-1626

E-mail: journal@japanpt.or.jp

オンライン投稿システム：

<http://www.editorialmanager.com/jpta-journal/>

13. 規定の改廃

本規定の改廃は編集委員会の決議による。その後速やかに本連合理事会に報告するものとする。

註1：国際医学雑誌編集者委員会：生物医学雑誌への投稿のための統一規定 (<http://www.icmje.org/recommendations/>)

註2：厚生労働省：研究に関する指針について (<http://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/hokabunya/kenkyujigyoku/i-kenkyu/index.html>)

附則

1. 本規定は、令和4年1月1日に遡って施行する。

（令和4年3月10日 編集委員会制定）

編集委員長
編集委員

島田 裕之	石垣 智也	内 昌之	小澤 淳也	粕山 達也	金子 文成
池添 冬芽	久保田雅史	神津 玲	河野 健一	榊間 春利	菅原 憲一
楠本 泰士	建内 宏重	対馬 栄輝	土井 剛彦	永井 宏達	中山 恭秀
高橋 真一	橋立 博幸	原田 和宏	樋口 大輔	前田 慶明	牧迫飛雄馬
野島 一平	森下慎一郎	森山 英樹	山口 智史	山田 実	
村松 憲					

査読委員

青木 一治	明崎 禎輝	浅賀 忠義	浅川 育世	浅川 康吉	阿南 雅也
阿部 勉	新井 武志	飯田 有輝	井澤 和太	石川 博明	石田 和人
石田 和宏	石田 水里	伊藤 義広	犬飼 康人	井上順一朗	井上 優
井平 光	上原信太郎	上村 一貴	白田 滋	内田 学	内山 覚
浦川 将	江玉 睦明	大住 倫弘	大塚章太郎	大鶴 直史	大西 秀明
岡田 洋平	小栢 進也	小野 玲	片山 脩	加藤 倫卓	金村 尚彦
上出 直人	神谷健太郎	鳥野 大	河上 敬介	河野 一郎	河辺 信秀
北出 一平	北原エリ子	木藤 伸宏	木山 良二	久保 雅義	熊丸めぐみ
肥田 朋子	小林 麻衣	小林 量作	小宮 諒	齊藤 正和	櫻井 宏明
菅田 陽怜	鈴木 里砂	角園 恵	陶山 和晃	関 裕也	関川 清一
関口 雄介	関屋 昇	高木 聖	高倉 保幸	高取 克彦	高見 彰淑
田中 貴子	田中 亮	田辺 茂雄	谷口 匡史	田畑 稔	田平 一行
堤本 広大	椿 淳裕	鶴崎 俊哉	寺西 利生	富田 浩輝	中 徹
中尾 周平	中窪 翔	長坂 和明	中西 和毅	中野 治郎	中野 尚子
中野渡達哉	中村 潤二	成田 雅俊	成田 崇矢	南角 学	西上 智彦
野添 匡史	信迫 悟志	花田 智	花田 匡利	樋口 由美	平瀬 達哉
福元 喜啓	藤澤 宏幸	藤澤 祐基	藤野 英己	本田 寛人	前島 洋
松尾 篤	松尾 英明	松崎由里子	松田 雅弘	宮城島沙織	宮下 浩二
宮本 俊朗	村山 尊司	森井 和枝	森岡 周	森沢 知之	森下 元賀
森野佐芳梨	山口 正貴	葉 清規	横川 吉晴	横川 正美	横塚美恵子
横山 茂樹	吉田 剛	吉松 竜貴	渡辺 学		

(五十音順)

編集後記

理学療法学49巻6号をお届けいたします。本号では研究論文3編、症例研究1編、症例報告1編、講座1編が掲載されました。

研究論文(原著)では、齊藤論文においてマウスを対象とした基礎研究から、自己治癒した膝前十字靭帯損傷に対する運動介入は治癒を阻害せず、治癒・成熟を促進する可能性を示しています。また、杉浦論文では高齢心臓外科手術患者における術前Short Physical Performance Batteryは入院関連能力低下の関連因子であり、術後低下が予測されるADLをスクリーニングするツールとして活用できる可能性を示しています。さらに、草野論文では脊髄損傷患者を対象とした観察的歩行評価であるSpinal Cord Injury Functional Ambulation Inventoryの日本語版を作成し、信頼性ある評価指標であることを示しています。

次に症例研究では、山田論文では脳卒中患者に対する歩行補助ロボットを用いた高速度歩行練習の効果をシングルケースデザインから検証しており、歩行速度向上に対する有効性を示しています。さらに症例報告では、瀬尾論文は重症COVID-19症例に対する呼吸理学療法と段階的運動療法の有効性と課題について報告しています。

講座では井上先生より、がん患者に対する自主トレ指導のポイントと注意点について、医学的治療に伴う有害事象・機能障害、がん患者の抱える問題、自主トレーニングの実際と効果のエビデンスまで、幅広い内容を臨床現場で活用できる構成で解説いただいております。

最後に、理学療法学として意義ある論文をご執筆いただきました方々、ならびに本学術領域の発展のために査読をお引き受けいただいた方々に深く感謝申し上げます。また、秋からの学会シーズンも少し落ち着きはじめて、その成果を論文として公表しようと考えておられる読者も多いと思われます。学会発表も価値ある学術活動ですが、知識・情報の伝承という点においては論文が求められます。論文は現在のみならず、将来の臨床家や研究者、社会においても有益な情報となる可能性を秘めています。後世においても利用される情報を残す手段として、「理学療法学」および「Physical Therapy Research」への投稿をお待ちしております。

(石垣智也)

理 学 療 法 学

第49巻 第6号

2022年12月20日 発行

編集
発行

一般社団法人 日本理学療法学会連合

〒106-0032 東京都港区六本木7丁目11番10号
公益社団法人 日本理学療法士協会内
TEL(03)5843-1747 (代表)

印刷・製本 株式会社国際文献社

〒162-0801 東京都新宿区山吹町332-6
パブリッシングセンター
TEL(03)6824-9363

