

資料

造血幹細胞移植患者に対する運動療法の効果に関する文献検討

久保江里\*, 國府浩子\*\*

Literature review on the effectiveness of exercise therapy for  
hematopoietic stem cell transplant patients

Eri Kubo\* Hiroko Kokufu\*\*

**Key words:** hematopoietic stem cell transplant, exercise, physical activity

受付日 2023 年 10 月 20 日 採択日 2024 年 1 月 10 日

\*熊本大学大学院保健学教育部 \*\*熊本大学大学院生命科学研究部

投稿責任者；國府浩子 kokufu@kumamoto-u.ac.jp

I. はじめに

造血幹細胞移植（以下、移植）は、大量化学療法や全身放射線治療など強力な移植前処置の後にドナーや患者自身から事前に採取した造血幹細胞を移植し、造血能を補う治療であり、白血病や悪性リンパ腫、多発性骨髄腫などの造血器腫瘍の根本的治癒を目指す。日本国内では年間 5,000 件以上実施され、移植前処置の改善や支持療法の進歩により、治療効果は高く、移植後の長期生存者は増加している。一方、移植前処置による治療関連毒性、移植後の急性・慢性移植片対宿主病（graft-versus-host-disease；GVHD）、感染症、倦怠感などさまざまな合併症を引き起こし、多くの苦痛を伴う症状が出現するなど課題も多い。

移植治療はクリーンルームという狭く閉鎖的な環境で行われるため、患者の身体活動量は減少しやすくなる。身体活動の減少が続くと、二次的な身体機能障害や抑うつ・認知機能などの精神機能を低下させ、廃用症候群のリスクとなる。その結果、患者の生活の質（quality of life；QOL）を著しく低下させることとなる。移植後の QOL 低下

の影響は長期的であり、数年に及ぶ可能性がある<sup>1)~3)</sup>。そのため、移植治療中における身体活動の維持は重要な課題であるといえる。

身体活動量低下から生じる身体機能障害を予防する対策として、リハビリテーションを中心とした運動療法が導入されている。運動療法は身体機能の向上だけでなく、全身倦怠感や QOL 向上に有益である。しかしながら、移植関連合併症による身体症状や精神的・感情的ストレスは、身体活動の障壁となり、患者は運動療法への参加を有益であると認識しながら、思うようにできない状況に直面している<sup>4) 5)</sup>。移植後の身体・精神機能低下から回復するには 1~5 年を要する<sup>6)</sup>など、移植後の症状は長期にわたり患者の生活に影響を及ぼすことから、症状をマネジメントしながら運動療法を実施することは重要であるが、臨床上においては依然課題も多く残されている。

移植治療期における運動療法の身体的、心理社会的な有効性の多くは海外で検証されており<sup>7)~9)</sup>、近年では運動療法は QOL 向上に寄与できる重要な

### Ⅲ. 結果

治療の一部として捉えられている。国内では、クリーンルームで実施する運動療法の安全性や有用性が検証されているが<sup>10)~12)</sup>、海外に比較すると運動療法の介入効果に関する国内の研究は少ない状況にある。国内においても体力低下を防ぐための運動プログラムの必要性が指摘され<sup>13) 14)</sup>、入院と同時に運動療法が導入されつつあるが、運動療法の定着には至らない現状がある。運動療法を定着させるためには、現状に即した運動支援の方法について検討する必要がある。

そこで本研究では、移植患者を対象にした運動療法の介入効果を検証した海外文献を概観することで、運動支援の方向性と課題を明確化することを目的とする。

### Ⅱ. 研究方法

造血幹細胞移植患者に対する運動療法の効果に関連した論文の検索は、オンライン文献情報ベースの PubMed、CINAHL で行った。検索は“hematopoietic stem cell transplantation” “physical activity” “exercise” に関する検索語を使用した検索式で得られた文献のうち英語で公表された文献に限定し 145 件抽出した。それらの文献をリスト化し、以下の要件を満たす論文を選定した。

- 1) 成人期以降に造血器腫瘍に対して造血幹細胞移植を受けた患者を対象にしている
- 2) 運動療法に焦点を当てた介入を実施し、その運動の種類、方法が記述されている
- 3) 運動療法の効果について評価されており、その結果が記述されている

対象に小児が含まれる論文やプロトコルのみで結果が含まれない論文を除外した結果、選定された論文は 13 件であり、それらを研究デザイン、対象、介入時期、期間、運動の種類・方法、成果、課題の視点で整理・分析した (表 1)。

#### 1. 研究デザインと対象

研究デザインは、9 件がランダム化比較試験 (RCT) で、その他は 1~2 群の事前事後テストによる比較であった。対象者数は 20~109 人であり、同種移植の患者を対象とした研究 6 件、自家移植の患者を対象とした研究 1 件、両方の移植患者を対象とした研究が 6 件であった。また、対照群には通常ケアや活動量計を使用したセルフモニタリングが設定されていた。

#### 2. 運動介入の実際

運動介入のモデルが記載されている論文は 1 件であり、Fried のフレイルサイクルであった。運動の種類は、有酸素運動 (AE:aerobic exercise)、レジスタンス運動 (RE:resistance exercise) およびそれらを組み合わせたものやリラクゼーションがみられた。方法は、個別介入が 12 件、グループ介入が 1 件であり、監視下運動療法 (supervised) が 7 件、在宅運動療法 (home-based) が 1 件、それらの複合 (supervised + home-based) が 5 件であった。在宅運動療法では運動内容の指導やカウンセリング、電話による動機づけメッセージも実施されていた。

介入時期は移植前のみ、移植中、移植後のみ、移植全期間、介入期間は 3 週間から 5 か月であった。運動の頻度は監視下運動療法では週 3~5 回、在宅運動療法では週 2~3 回に設定されていた。

有酸素運動は、サイクルエルゴメータやトレッドミルを使用した運動やウォーキングであった。運動強度は最大心拍数の 40~60% (低~中強度) に設定し、強度を漸増する内容が多くみられた。移植前からのみの介入は、最大心拍数 80% の高強度のインターバル型ウォーキングやジョギングが行われていた。移植中の介入では、敏捷性のはしごを用いた中強度の多方向 (前方、後方、横向き、斜め) ウォーキングが行われていた。移植全期間を継続した介入では、在宅では主にウォーキングを実施し、入院中はレジスタンス運動と組み合わせ

た内容であった。

レジスタンス運動は、トレーニングマシンを使用し、主要筋群を強化する運動や抵抗バンドを用いたストレッチが行われていた。運動強度は中強度が多く、最大挙上重量(1RM: One repetition maximum)の60~80%、10回程度の反復運動を2~3セットに設定していた。移植中の介入では、運動強度を低強度に調整し、振動プラットフォームを用いた全身振動(WBV: whole body vibration)が行われ、従来のレジスタンス運動に呼吸筋トレーニングやリラクゼーションを組み入れた運動も行われていた。

### 3. 運動介入の効果

運動介入の効果は、加速度計による身体活動量の評価、体力測定による身体機能評価、身体症状や精神症状およびQOLについて指標を用いて複合評価されていた。身体機能評価では、有酸素性持久力や筋力などの体力、バランスや歩行能力などの機能的な能力への効果について検証されていた。身体症状では倦怠感、精神症状では不安や抑うつ、QOLでは一般的なQOLおよびがん特異的QOLについての効果が検証されていた。評価の時期は介入前をベースライン(T0)とし、プログラムの終了時のみが5研究、プログラム終了時と終了後のフォローアップが3研究、プログラム中と終了時が4研究、プログラム中と終了時、終了後のフォローアップが1研究であった。フォローアップの時期は、移植後3か月、6か月、1年がそれぞれ1研究ずつであった。

介入効果を認めた論文は11研究であった<sup>15)~21), 24)~27)</sup>。このうち10研究は複合評価により効果を検証しており、介入時期は移植前のみが1研究<sup>24)</sup>、移植中が4研究<sup>16)~18), 21)</sup>、移植全期間を継続した介入が3研究<sup>20) 25) 27)</sup>、移植後のみが2研究<sup>15) 26)</sup>であった。その他1研究は<sup>19)</sup>、倦怠感への効果について、移植全期間を継続した介入を行い、単独評価していた。対照群と差がないなど効果を認めなかった研究は2研究であり、移植前のプレハビリテーションに関する研究、退院後に開始する研究であった。

体力の評価には、6分間歩行距離や最大酸素摂取量、握力等の指標を用いていた。介入後に体力への効果をもとめたものは7研究(監視下運動療法3件、監視下と在宅運動療法の複合3件、在宅運動療法1件)であった。効果を認めなかった研究は、移植前のみ介入であり、研究対象者の体力が様々であったことや評価可能な対象者が少なかったと報告していた。身体活動量では時間効果および群間効果をもとめていた。

動作時のバランスの評価には、Timed up Go Test (TUG) や SPPB (Short Physical Performance Battery) などの指標を用いていた。移植後早期の筋力回復トレーニング介入では、対照群よりもTUGのタイムは安定しているとの報告があった。一方、有酸素運動やレジスタンス運動による介入では、効果を認めなかったとする報告もみられた。

倦怠感の評価には、Multidimensional Fatigue Inventory (MFI)、Fatigue Impact Scale (FIS)、European Organisation for Research and Treatment of Cancer Quality of Life Questionnaire C30 (EORTC QLQ-C30) などの指標が用いられており、介入中や介入終了後の評価において、倦怠感の回復がみられていた。一方、女性患者は移植前のレジスタンス運動の時間が有意に長いにも関わらず、移植後3か月経過しても男性患者より倦怠感が続くとする報告がみられた。

精神症状への効果は、Hospital Anxiety and Depression Scale (HADS) や Profile of Mood States (POMS) を用いて評価していた。不安や抑うつに効果を認めており、リラクゼーションの要素は心理状態の改善のため有益であるとされていた。

QOLは、EORTC QLQ-C30、Functional Assessment of Cancer Therapies -Bone Marrow Transplantation (FACT-BMT) 等の指標を用いて評価されており、身体機能や社会機能、役割機能において運動群の方が改善をもとめていた。運動療法による有害事象の報告はなかった。

## IV. 考察

造血幹細胞移植患者を対象にした運動療法の介入効果は、身体機能評価や身体症状、精神症状、QOLについて複合評価で検証されていた。移植後の合併症により、身体的、認知的、感情的症状は苦痛を伴う複数の症状として併発する。特に移植直後の倦怠感が高頻度にみられ、強烈かつ数年間にわたって継続する<sup>28)</sup>。移植後に出現する多くの症状は長期にわたって複雑に絡み合い影響しているため、複合的な評価が必要であるといえる。したがって、運動介入と同時に複数症状の継続的な評価を強化し、症状の負担と運動による利点のバランスを考慮した介入アプローチが必要<sup>25)</sup>であり、患者が症状をマネジメントしながら運動に取り組むための教育的な支援が重要である。そのためにはどのような教育的要素に着目して運動介入すればよいか検討するとともに、継続的に症状を評価し、症状に対処する機会を逃さず、症状負担を最小限に抑えることが課題であると考えられる。本研究において、多くの研究は介入後に体力、倦怠感、QOL、不安の改善をみとめていた。ほとんどの運動介入は、監視下または部分監視下での個別対応を行っており、個別の健康状態に応じた柔軟な運動療法の効果として倦怠感の回復、有酸素性持久力や筋力の改善につながったと思われる。

一方で、移植前からのみの介入や退院後からの介入は、介入後の体力や機能的な運動能力において、通常ケアとの差がないなど効果をみとめなかった。この要因として介入時期の問題が大きい。研究対象者数が少ないこと、運動方法が対象者個別の体力に最適ではないこと、評価方法が対象者の負担になることがあげられており、移植患者に対する運動介入の利点を最大化し、負担を最小化する研究デザインが重要であるといえる。また、無作為化されていないため、対照群は自家・同種の両方が含まれていたのに対して介入群は自家のみで構成されていたなど群間の属性が同質ではないため、2群間でみられた運動介入の効果に交絡因子の影響を受けやすい論文が見受けられた。したがって、研究対象者数や対象の無作為化や均質

化、移植の種類別での介入方法など、介入研究における研究デザインが課題であるといえる。

介入時期では移植前のみや移植後のみの介入に比して、移植中や移植全期間を通しての介入が効果をみとめていた。移植中の運動介入が重要であることが示されたが、移植前からの運動がより効果を表していくのか、移植後も引き続き運動を継続する方がより効果を維持できるのかなど、今後検討を続ける必要がある。運動の重要性についての明確な説明<sup>5)</sup>や運動は回復や症状改善に役立つという確信<sup>4)</sup>は動機づけになることが明らかになっており、症状マネジメントとともに運動の重要性について知識を向上させる教育が必要である。運動の動機づけを促し定着させるためには、移植後の時期や個別の症状に応じて運動が回復促進に役立つという確信を持てるための継続的な教育支援が課題であると考えられる。

介入方法は個別対応で監視下または部分監視の方が効果をみとめており、個別の健康状態に応じた柔軟な運動介入は重要であることが明らかになったが、シームレスな運動継続介入アプローチや在宅でも部分監視を継続する方が長期的に運動効果を維持できるのかなど、今後検討が必要である。

## V. 終わりに

造血幹細胞移植患者に対する運動療法は、身体的および心理社会的健康の複数の要因の改善につながっていた。移植の合併症による苦痛を伴う複数症状は長期的に継続するため、運動の重要性についての知識向上や症状をマネジメントしながら運動に取り組むための教育的支援が必要であり、運動を定着させるためには、適切に症状に対処し、症状負担を最小限に抑えることが課題である。

## 文献

- 1) Andrykowski, MA., et al: Long-term health-related quality of life, growth, and spiritual well-being after

- hematopoietic stem cell transplantation. *J Clin Oncol.* 23(13): 599-608, 2005.
- 2) Pidala, J., et al: Quality of life after allogeneic hematopoietic cell transplantation of life after allogeneic hematopoietic cell transplantation. *Blood.* 114(1): 7-19, 2009.
  - 3) Koop, M., et al: Quality of life in adult hematopoietic cell transplant patients at least 5 yr after treatment: a comparison with healthy controls. *Eur J Hematol.* 74(4): 304-308, 2004.
  - 4) Abo, S., et al: Exercise in allogeneic bone marrow transplantation: a qualitative representation of the patient perspective. *Support Care Cancer.* 30(6): 5389-5399, 2022.
  - 5) Yu MS., et al: Exercise barriers and facilitators during hematopoietic stem cell transplantation: a qualitative study. *BMJ Open.* 10(9): e037460, 2020.
  - 6) Syrjala, KL., et al: Recovery and long-term function after hematopoietic cell transplantation for leukemia or lymphoma. *JAMA.* 291(19): 2335-2343, 2004.
  - 7) Persoon, S., et al: Effects of exercise in patients treated with stem cell transplantation for a hematologic malignancy: a systematic review and meta-analysis. *Cancer Treat Rev.* 39(6): 682-690, 2013.
  - 8) Morales-Rodriguez, E., et al: Effects of Exercise Programs on Physical Factors and Safety in Adult Patients with Cancer and Haematopoietic Stem Cell Transplantation: A Systematic Review. *Int J Environ Res Public Health.* 19(3): 1288, 2022.
  - 9) Abo, S., et al: People With Hematological Malignancies Treated With Bone Marrow Transplantation Have Improved Function, Quality of Life, and Fatigue Following Exercise Intervention: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Phys Ther.* 101(8): pzab130, 2021.
  - 10) 森下慎一郎, 他: 造血幹細胞移植患者に対する無菌室内での運動療法の安全性について, 臨床理学療法研究, 26: 35-38, 2009.
  - 11) 森下慎一郎, 他: 造血幹細胞移植患者の移植前後の身体機能に関する研究 -無菌室内における運動療法の有用性-, 理学療法学, 36 (3) : 120-126, 2009.
  - 12) Morishita, S., et al: Safety and feasibility of physical therapy in cytopenic patients during allogeneic haematopoietic stem cell transplantation. *Eur J Cancer Care.* 22(3): 289-299, 2013.
  - 13) Hamada, R., et al: Higher exercise tolerance early after allogeneic hematopoietic stem cell transplantation in the predictive marker for higher probability of later social reintegration. *Sci Rep.* 11(1): 7190, 2021.
  - 14) 新井康之, 他: 同種造血幹細胞移植前後のリハビリテーションによる、予後改善効果の解析 移植後早期に高い運動耐性を示すことは、その後の社会復帰の可能性を高める予測マーカーとなる, デサントスポーツ科学, 42: 52-63, 2022.
  - 15) Lee, K., et al: Feasibility of implementing a supervised telehealth exercise intervention in frail survivors of hematopoietic cell transplantation: a pilot randomized trial. *BMC Cancer.* 23: 390, 2023.
  - 16) Almeida, LB., et al: Inspiratory muscle training in addition to conventional physical rehabilitation in hospitalized patients undergoing hematopoietic stem cell transplantation: a randomized controlled trial. *Support Care Cancer.* 30: 9393-9402, 2022.
  - 17) Camacho Pérez, E., et al: Evaluation of a group based exercise and relaxation rehabilitation program during hospitalization for allogeneic hematopoietic stem cell transplant. *PM&R.* 15: 51-64, 2023.
  - 18) Pahl, A., et al: Whole body vibration training during allogeneic hematopoietic cell transplantation the effects on patients' physical capacity. *Ann Hemat.* 99: 635-648, 2020.
  - 19) Kisch, A., et al: Implementing a Feasible Exercise Programme in an Allogeneic Haematopoietic Stem Cell Transplantation Setting-Impact on Physical Activity and Fatigue. *Int J Environ Res Public Health.* 17, 2020.
  - 20) Yildiz, V., et al: Effects of partly supervised and

- home-based exercise program in patients undergoing hematopoietic stem cell transplantation: a case control study. *Support Care Cancer*. 28: 5851–5860, 2020.
- 21) Potiaumpai, M., et al: Multidirectional walking in hematopoietic stem cell transplant patients. *Med Sci Sports Exerc*. 27, 2020.
- 22) Wood, WA., et al: Lessons learned from a pilot randomized clinical trial of home-based exercise prescription before allogeneic hematopoietic cell transplantation. *Support Care Cancer*. 28: 5291–5298, 2020.
- 23) van Dongen, JM., et al: Long-term effectiveness and cost-effectiveness of an 18-week supervised exercise program in patients treated with autologous stem cell transplantation: results from the EXIST study. *J Cancer Surviv*. 13: 558–569, 2019.
- 24) van Haren, IEPM., et al: Physical exercise prior to hematopoietic stem cell transplantation: a feasibility study. *Physiother Theory Pract*. 34: 747–756, 2018.
- 25) Hacker, ED., et al: Strength training to enhance early recovery after hematopoietic stem cell transplantation. *Biol Blood Marrow Transplant*. 23: 659–669, 2017.
- 26) Bargi, G., et al: Inspiratory muscle training in allogeneic hematopoietic stem cell transplantation recipients: a randomized controlled trial. *Support Care Cancer*. 24: 647–659, 2016.
- 27) Wiskemann, J., et al: Effects of a partly self-administered exercise program before, during, and after allogeneic stem cell transplantation. *Blood*. 117: 2604–2613, 2011.
- 28) Grulke, N., et al: Quality of life in patients before and after hematopoietic stem cell transplantation measured with the European Organization for Research and Treatment of Cancer (EORTC) Quality of Life Core Questionnaire QLQ-C30. *Bone Marrow Transplant*. 47(4): 473-482, 2012.

表 1. 分析対象論文の概要

筆頭著者 (発表年)	研究デザインと 対象	運動の種類・方法	介入時期	介入期間・内容	主な指標 評価時期 (T)	主な結果
Lee, et al (2023) <sup>15)</sup>	RCT n=20 (運動 20, 遅延 20) 同種 12, 自家 8 NHL, AML	4つの要素 (動的バランス, 筋力, 体幹の安定性, 姿勢制 御) を目標にした運動 supervised +home-based 個別	移植後 (退院後)	8週間, 移植後 2年以上経過して開始 週 3回, 30分以上 遠隔でリアルタイムのコーチングを受けなが ら運動。対照群はベースラインから 8週間後 に運動群と同じ健康運動を開始	SPPB, 握力 FACT-T T1: 介入終了時	SPPB による下肢機能評価では, 運動群 の 60%は 10 以上を維持していた。 FACT-T による倦怠感には有意差なし。運 動群では 4m 歩行速度と 5 分間歩行速度 による有酸素持久力に有意な改善がみ られた
Almeida, et al (2022) <sup>16)</sup>	RCT n=57 (運動 30, 通常ケア 27) 同種 2, 自家 55 MM, HL	AE+IMT* supervised 個別 *IMT; Inspiratory muscle training	移植中 (入院中のみ)	約 3 週間, 移植目的の入院中に開始 週 5回, 20~40 分 AE; 心拍予備能の 50-70%, 中強度のエルゴメ ーター使用。IMT; 強度はベースラインの 40%, 座位で足と体幹を支えた状態で 12~16 回/分の横隔膜呼吸によるトレーニング	呼吸筋力 (MIP) 血圧, TUG, FACT-F, EORTC-QLQC30 T1: 介入終了時 (退院 時)	運動群は対照群よりも MIP による 呼吸筋力が有意に改善し, 血圧低下 を認めた。FACT-F による倦怠感で は, 入院から退院時までの社会的/身 近な領域における倦怠感減少をみ とめた
Pérez, et al (2022) <sup>17)</sup>	1 群事前-事後デザイン n=45 同種のみ AML, MDS	AE+RE+リラクゼーション supervised グループベース	移植中 (入院中のみ)	約 4 週間, 移植目的の入院中に開始 週 4回, 20 分, 低~中程度の運動とリラクゼー ション・クラス (音楽療法やマインドフルネ スを含む)	TUG, 握力, 体重, FACT-BMT, FACT-Cog, HADS T1: 介入後 (退院時) T2: 移植後 100 日	T1 では, TUG による動作時のバランス, 握力の改善は認められなかった。3 つ以 上のクラスに参加した対象者は, 認知機 能のレベルが高く, 倦怠感, 不安, 抑 うつが減少した
Pahl A, et al (2020) <sup>18)</sup>	RCT n=71 (WBV37, ストレッチ 34) 同種のみ AML, ALL	WBV* supervised 個別 *WBV; Whole body vibration	移植中 (入院中のみ)	6~7 週間, 移植目的の入院中に開始 週 5回, 20 分程度, 全身振動刺激トレーニング 装置を使用し, 低強度に設定し立位でトレー ニング。	最高酸素摂取量 EORTC-QLQC30, MFI T1: 介入後 6or7w (退院時) T2: 移植後約 180 日目	T1 の QOL 評価では, 身体機能, 役割機能, 感情機能, 社会機能において運動群の方 が改善をみとめた。 T2 で WBV 群のみ最高酸素摂取量は有 意に増加し, 有酸素持久力と倦怠感に改 善した。筋持久力は両群ともに有意差 をみとめなかった
Kisch, et al (2020) <sup>19)</sup>	1 群事前-事後デザイン n=67 同種のみ AML, MDS, NHL	AE+RE supervised +home-based 個別	移植期間を 継続 (移植前・中・後)	4~5 か月, 移植前に開始 在宅 (入院前と退院後); 1 日 30~60 分の AE (ウォーキング, ランニング) および RE (抵 抗バンドを用いたストレッチ)。電話指導は週 2 回 入院中; 週 5回。ランニング以外は home-based と同じ内容	MFI-20 T1: 入院時 T2: 退院時 T3: 介入終了時 (移植 3 か月後)	退院時は重度の倦怠感を有していたが, 3 ヶ月後には全般的倦怠感, 身体的倦怠 感, 活動性の低下において改善をみと めた。女性患者は RE の期間が有意に長 いにもかかわらず退院時と移植後 3 か月 の倦怠感が男性患者よりも大きい
Yildiz Kabak V, et al (2020) <sup>20)</sup>	n=50 (運動 25, 健康指導 25) 自家 40, 同種 10 MM, HNL	AE+RE+リラクゼーション supervised +home-based 個別	移植期間を 継続 (移植前・中・後)	4~5 か月, 移植前に開始 入院中; 週 5回。15-20 分。AE (ウォーキン グ, 最大心拍数の 40-60%) RE (上下肢と体幹 の筋力強化, 自重, 抵抗バンド使用, 低~中強 度), リラクゼーション 在宅 (入院前と退院後); 入院中のプログラム を継続。指導は週 2 回	6MWT, 握力, TUG, 30 秒 SST EORTC-QLQC30, HADS, FACT-Cog T1: 退院時 T2: 介入終了時 (移植後 100 日目)	T2 で運動群は 6MWT による有酸素性持 続力に変化はなかったが, 対照群はベ ースラインよりも低下していた。運動群 は 30 秒 SST による動的バランスに変化 はなかったが, 対照群では T1, T2 ともに 低下した。運動群では倦怠感と認知機 能に大幅な改善をみとめた

筆頭著者 (発表年)	研究デザインと 対象	運動の種類・方法	介入時期	介入期間・内容	主な指標 評価時期 (T)	主な結果
Potiaumpai, et al (2020) <sup>21)</sup>	RCT n=35 (運動 19, カウンセリング 16) 同種 18, 自家 17 AML, MM	AE supervised 個別	移植中 (入院中のみ)	約4週間, 移植目的の入院中に開始 週3回, 20~30分程度。ウォーキングは高強度。多 方向ウォーキングは中強度。	6MWT, TUG, FACT- BMT T1: 移植 3~5 日後 T2: 介入終了時 (退院時)	T1 と T2 で運動群は 6MWT による有酸素 性持久力と FACT-BMT による QOL の身 体的幸福と機能的幸福の改善に大きな効 果をみとめたが, 対照群では弱い効果しか 示さなかった。TUG による動作時のバラ ンスは群間差を認めなかった
Wood WA, et al (2020) <sup>22)</sup>	RCT n=34 (運動 17, 歩数計 17) 同種のみ AML, MDS	AE home-based (+supervised) 個別	移植前	5~12 週間, 移植前のみ介入 週 3~4 回, 30 分。AE: インターバル型のウォ ーキングやジョギング。強度は最大心拍数の 80%。平均歩数は毎週 10% ずつ漸増	6MWT, 最高酸素摂取量 T1: 介入終了後	予定通りに移植に至らない対象者が多く, 完遂者は 16 名であり, 効果は引き出せな かった。6MWT と最高酸素摂取量に有意 差はなかった
Van Dongen JM, et al (2019) <sup>23)</sup>	RCT n=109 (運動 54, 通常ケ 55) 自家のみ MM, NHL	AE+RE home-based +supervised 個別	移植後 (退院後)	18 週間, 移植後 6-14 週間後に開始 1~11 週は週 2 回, 12~18 週は週 1 回, 約 60 分 AE (インターバル型サイクリング 2x8 分) RE (トレーニングマシンを使用し主要筋群を 意識した運動, 強度は 1RM の 65-80%, 10 回x2 セット) カウンセリング 6 回	最高酸素摂取量 握力 MFI, EQ-5D-3L T1: 介入後 18w T2: 1 年後	最高酸素摂取量, 握力, MFI による倦怠感に ついて, 群間に有意差はなく, 効果はみと められなかった。費用対効果はみとめら れなかった
Van Haren, et al (2018) <sup>24)</sup>	不等価 2 群事前事後 デザイン n=29 (運動 14, 通常ケ 15) 同種 6, 自家 23 MM, NHL, AML	AE+RE+リラクゼーション supervised 個別	移植前	4~6 週間, 移植前のみ介入。週 2 回, 30~40 分。AE (エルゴメーター使用強度は最大心拍数の 75- 85%) RE (トレーニングマシンを使用し主要筋群を 意識した運動強度は 1RM の 60-80%, 8-12 回 3 セッ ト) リラクゼーション (呼吸法, ストレッチなど)	SF-36, CIS 最高酸素摂取量 (運動 群のみ) T1: 介入後 (移植前) T2: 移植 6 週間後 T3: 移植 3 か月後	プログラムへの平均アドヒアランスは 69%であった。T1~3 にかけて運動群は 対照群よりも倦怠感が少なかった。SF-36 による QOL は両群で有意差はなかった
Hacker, et al (2017) <sup>25)</sup>	RCT n=67 (運動 33 通常 ケア + 健康教育 34) 同種 28 自家 39 AML, NHL, MM	RE supervised+ home-based 個別	移植期間を 継続 (移植前・中・後)	7~8 週間, 入院中に開始。 入院中; 週 2 回積極的に可動域訓練を行う 在宅 (退院後); 週 3 回抵抗バンドを用いて上半 身, 下半身, 腹筋を強化。指導は週 1~2 回	Chalder fatigue scale, EORTCQLQ-30, 握力, T1: 介入終了時	運動群は対照群よりも身体活動, 倦怠感, 筋力において有益な効果を示した。身体 活動量は両群ともベースラインと比較し て減少していた。運動群の身体活動量低 下は 15%, 対照群は 25%であった
Bargi G, et al (2016) <sup>26)</sup>	RCT n=55 (IMT28 偽 IMT27) 同種のみ ALL, AML	IMT home-based(+ supervised) 個別	移植後 (退院後)	6 週間, 移植後 100 日以上経過後に開始 週 7 回, 30 分 IMT: POWERbreath® を使用, 10~15 回の連続した横隔 膜呼吸と 5~10 秒の休憩からなる呼吸	6MWT, MISWT, FIS, 呼吸筋力 T1: 介入終了時	IMT 群は対照群より 6MWT(29.30m)と MISWT (61.94m) による有酸素持久 力, 呼吸筋力 (MIP; 34.99 cm H2O, MEP; 12.69 cm H2O) で改善がみとめられた
Wiskemann, et al (2011) <sup>27)</sup>	RCT n=105 (運動 52 通常ケア 53) 同種のみ AML, ALL, MDS	AE+RE supervised+ home-based 個別	移植期間を 継続 (移植前・中・後)	3~4 か月。移植前に開始 入院中; AE (ウォーキング, 週 3 回 20~40 分, 中強 度) RE (ストレッチバンドを使用し上下肢の筋力 強化, 8~12 回 2 セット, 週 2 回, 中~高強度) 在宅; 20 ~40 分の早歩き	6MWT, MFI, POMS, EORTCQLQ-30 T1: 入院時 T2: 退院時 T3: 介入終了時	運動群では T2 から T3 にかけて, 6MWT による有酸素持久力, 倦怠感, 感情機能 (不安) の回復を示した。退院 6~8 週間 の倦怠感, MFI の GF (全般), PF (身 体) に効果のみとめたが, EORTCQLQ- 30 では効果を示さなかった

**Abbreviations:** NHL, Non Hodgkin lymphoma, HL, Hodgkin Lymphoma, AML, Acute Myelogenous Leukemia, ALL, Acute Lymphoid Leukemia MM, Multiple Myeloma, MDS, Myelodysplastic Syndromes, AE, Aerobic Exercise, RE, Resistance Exercise, SPPB, Short Physical Performance Battery, TUG, Timed Up Go Test, CS-30, Chair Standing Test30, MFI, Multidimensional Fatigue, FACT-Cog, Functional Assessment of Cancer Therapies - Cognitive Function,