

ハンズフリー松葉杖(HFC)の臨床的利点

Evrin S. Altinkaynak, PhD

エグゼクティブサマリー

通常の松葉杖や膝スクーターと比較して、ハンズフリー松葉杖(HFC)は、日常生活動作(ADL)を行う上で患者にとって大きな利便性を提供することが広く知られるようになってきました。あまり知られていないのは、HFCがもたらす重要な医学的メリットですが、これらは現在、エビデンスに基づいた研究によって裏付けられています。

松葉杖や膝スクーターとの比較により、HFCには以下の利点があることが示されています：

- 患者の好みが増加：90%の患者が松葉杖よりHFCを好み、日常生活動作を行う際に最も高い評価を得ています。
- 日常生活動作の実行能力：HFC使用者はより機能的で、怪我前と同様に日常生活のあらゆる活動を行えます。
- 筋活動の増加：松葉杖やスクーターでは、非荷重側の筋肉の活動はほとんどありませんが、HFCでは上肢・下肢両方の筋肉が正常歩行に近い形で活動します。
- 筋萎縮の抑制：HFCは松葉杖やスクーターと比較して筋萎縮を抑制します。
- 血流の増加：HFC使用時には静脈血流が有意に増加します。
- 深部静脈血栓症(DVT)のリスク低下：筋活動と血流増加により、DVTのリスクが軽減されます。
- 酸素供給の改善：HFCは負傷側の筋肉への酸素供給を高めます。
- 安定性と安全性の向上：HFC使用者は松葉杖使用者よりも安定しており、転倒や二次的な怪我が少ないです。
- 回復の迅速化：HFC使用により、より早期の退院や職場復帰が可能となります。
- 非荷重の指示遵守の向上
- 脳の可塑性変化の抑制

患者の好み(90%がHFCを選択)

医学雑誌『Foot and Ankle International』に掲載された査読付き論文によると、10人中9人の患者が松葉杖よりもHFCを好むと報告されています。

別の研究では、歩行ブーツの有無にかかわらず松葉杖の使用とHFCの使用を比較し、いずれの条件でもHFCがより好まれる結果となりました。

さらに、複数の研究で、HFCは松葉杖よりも不快感・疲労感・痛みが少ないことが示唆されています。日常生活動作(ADL)をHFCで行えることが、非荷重を強いられる下肢損傷の患者にとってHFCが好まれる大きな理由の一つとされています。

※詳細および引用文献は付録 A.1 を参照

筋活動の増加

医学誌『Foot and Ankle Orthopaedics』に掲載された研究では、HFC(ハンズフリースィングルクラッチ:HFSC)と松葉杖(腋窩クラッチ:SAC)による負傷脚の筋活動を比較し、松葉杖では筋活動がほぼゼロであるのに対し、HFCでは非荷重脚の筋活動が通常歩行時の筋発火に近いことが示されました(図1)。

同じ雑誌に掲載された後続の研究では、HFCと膝スクーターの筋活動を比較し、HFCの方が通常歩行時の筋活動パターンにより近いことが示されました。

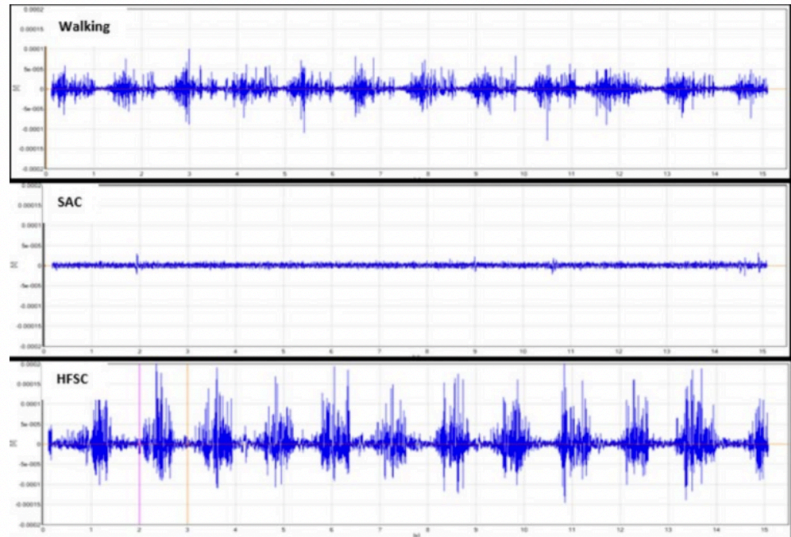
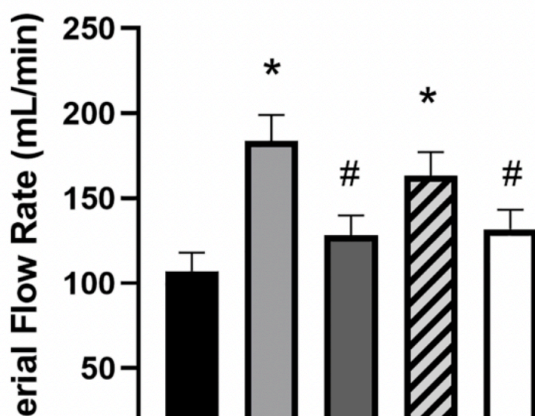


Figure 1 EMG data from the vastus lateralis.

HFCは、通常の歩行を模倣できる唯一の移動補助具であり、正常歩行に最も近い筋活動を生み出せる唯一の装置です。このため、HFCは筋萎縮の抑制、血流の改善、深部静脈血栓症(DVT)リスクの低下、治癒促進など、これまで松葉杖使用によって生じていた欠点を克服できる可能性を秘めています。

※詳細および引用文献は付録 A.2 を参照

血流の増加と静脈うっ滞の減少



包括的な研究により、HFCによる歩行後の血流量は、通常の補助なし歩行と有意差がないことが示されました。一方で、膝スクーターや松葉杖を使用した歩行では、膝裏の血流および血管径が統計的に有意に低下することが明らかになっています。

歩行手段による血流の違いは、深部静脈血栓症(DVT)や肺血栓塞栓症の予防に大きく関係しています。この研究の意義は、長時間の膝屈曲による血流低下が、HFCを使うことで筋肉の活性化により軽減されることを示した点にあります。

また、HFCの使用により筋ポンプの活動が促され、膝の屈曲角度よりも局所的な血流や血管径により強い影響を与えることが証明されました。

※詳細および引用文献は付録 A.3 および A.4 を参照

筋肉への酸素供給の改善

血流を介した酸素供給は、損傷部位の治癒に不可欠です。HFC、膝スクーター、松葉杖を使用した直後の筋肉への酸素供給を、通常の歩行と比較した直接的な研究が行われました。

その結果、HFCの使用により、**大腿二頭筋 (biceps femoris) および外側腓腹筋 (lateral gastrocnemius)** の筋酸素飽和度が松葉杖よりも高いことが判明しました(図3)。さらに、これらの筋群において、HFCと通常歩行との間に有意な差は見られませんでした。

これらの筋群における高い酸素供給は、治癒促進だけでなく、深部静脈血栓症 (DVT) の予防や筋萎縮の抑制にも重要な意味を持ちます。

※詳細および引用文献は付録 A.5 を参照

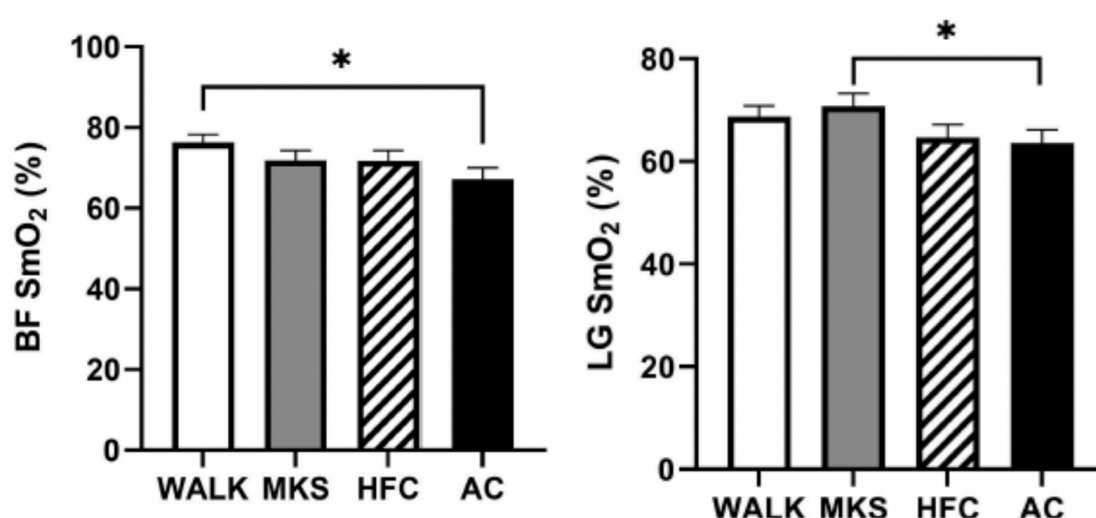


Figure 3 Muscle Oxygen saturation in the biceps femoris (BF) and in the lateral gastrocnemius (LG) muscle for normal walking (walk), knee scooters (MKS), hands-free crutch (HFC) and axillary crutches (AC).

筋萎縮の抑制

多数の科学研究により、松葉杖の使用により非荷重状態が続くと筋萎縮および筋力低下が起こることが示されています。過去の研究では、膝の屈曲角度が筋萎縮に与える影響が大きく、短縮された状態の筋肉は萎縮しやすいことが明らかにされています。

HFCでは膝の角度が90度に固定される一方で、松葉杖ではおよそ30度です。HFCでは筋肉が伸張された状態にあるため、松葉杖と比べて筋萎縮の進行を抑えることが期待されます。

さらに、HFCを使用することで、非荷重脚の筋活動、血流、筋酸素飽和度が向上するという先行研究に基づき、HFCが筋萎縮および筋力低下を防ぐことが実証されています。

これは、筋萎縮を抑制できる移動補助具としてのHFCの大きな利点を示しています。

※詳細および引用文献は付録 A.6 を参照

安定性と安全性の向上

安定性の高い移動補助具は、転倒や二次的な怪我の予防に極めて重要です。研究によると、HFCは松葉杖と比較して全身の角運動量が有意に低いことが示されています。これは、HFC使用者の方がバランス制御が良好で、転倒のリスクが低いことを意味します。

角運動量の大きさは、転倒リスクの高さや歩行時の不安定さと関連づけられており、HFCはこの点で有利であるといえます。研究では以下6つの条件における角運動量の平均範囲が比較されました：

- NONE(装具なし)
- BOOT(歩行ブーツのみ)
- HFC(HFC単体)
- HFCBOOT(HFC+歩行ブーツ)
- SAC(松葉杖単体)
- SACBOOT(松葉杖+歩行ブーツ)

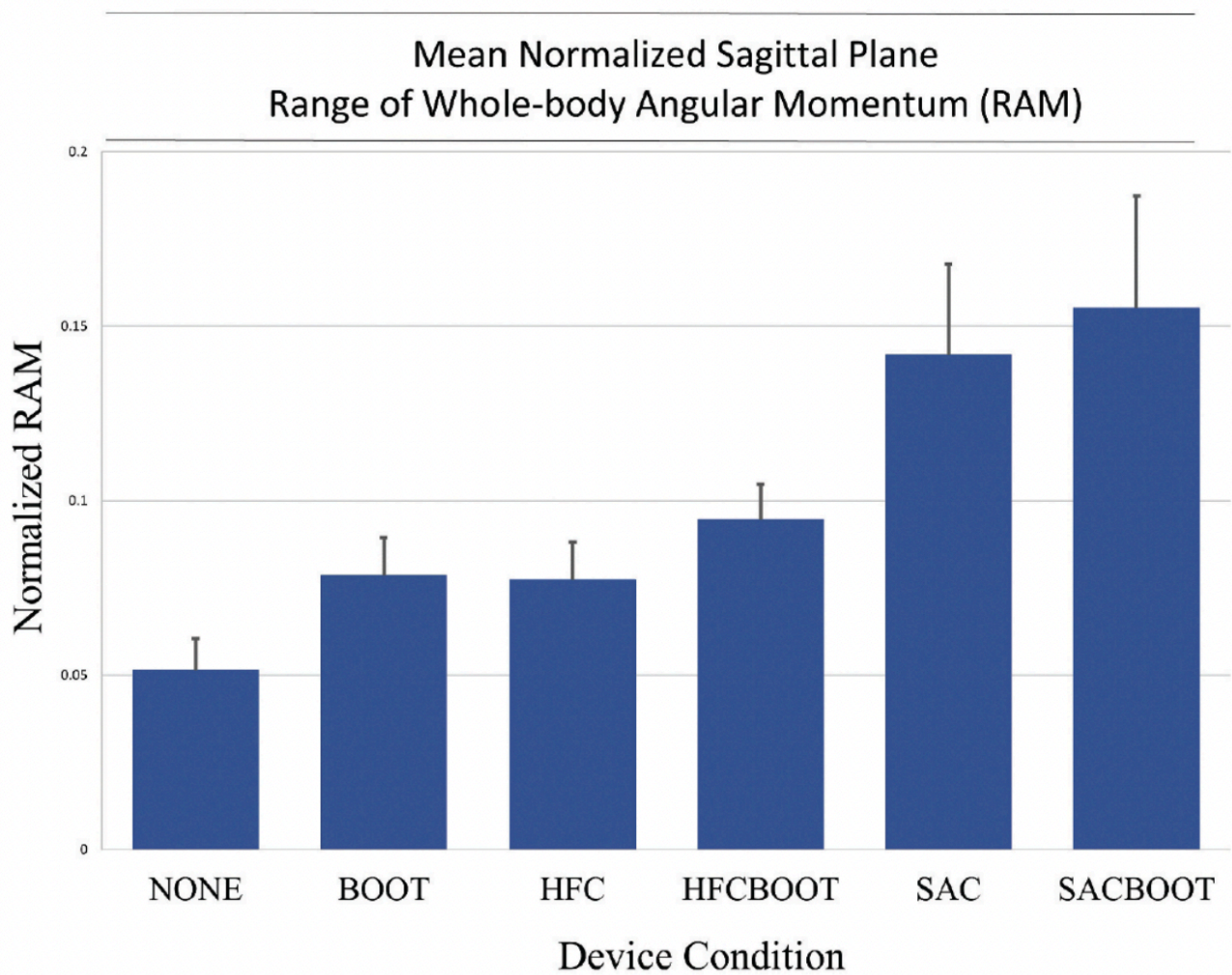


Figure 4 Mean range of whole-body angular momentum over a gait cycle for six conditions.

HFC使用時には、両脚を交互に動かす「反復性のある歩行パターン」が可能であり、角運動量が通常歩行と類似した正弦波パターンを示すことが確認されています。一方、松葉杖では歩行周期内に大きな角運動量のピークが発生し、バランス維持が困難になります。

※詳細および引用文献は付録 A.7 を参照

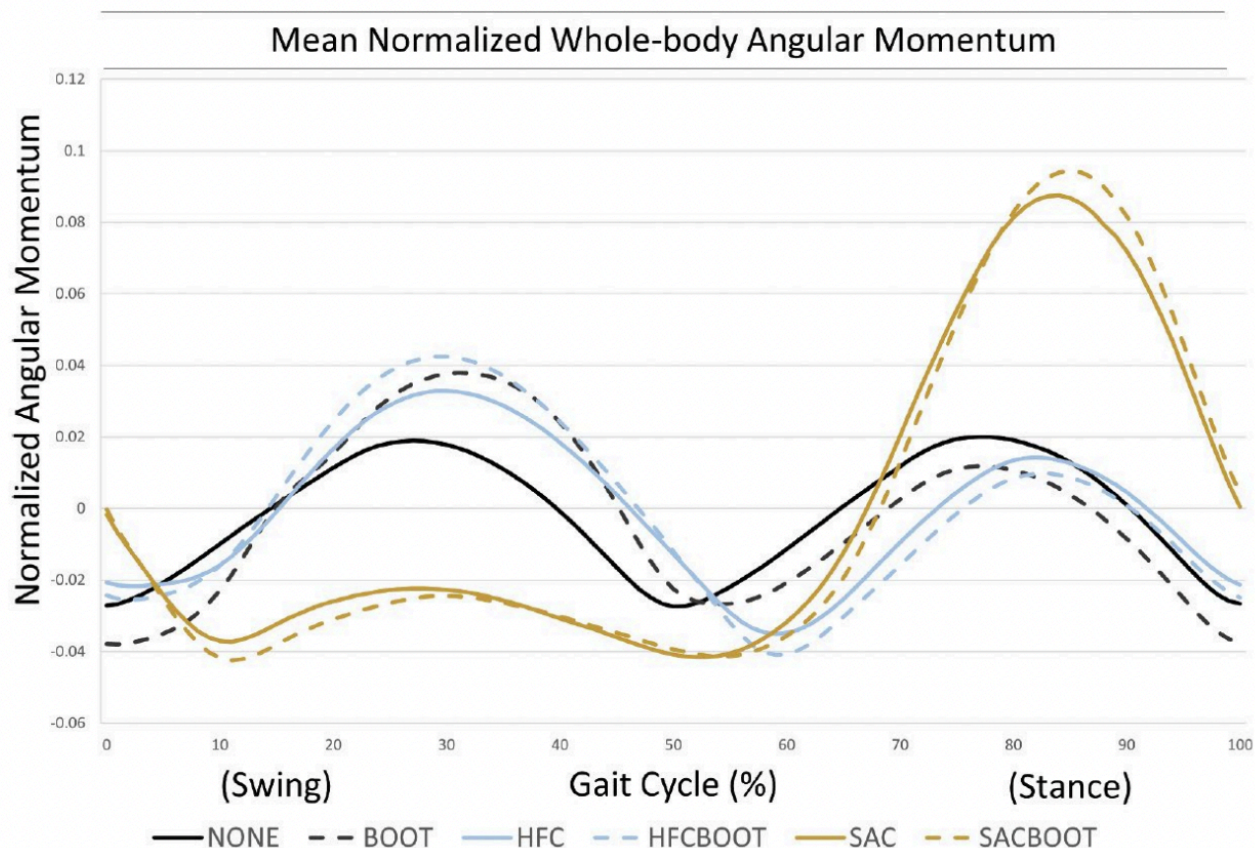


Figure 5 Average normalized sagittal plane whole-body angular momentum for all participants from heel strike to heel strike.

回復の迅速化・医療費の削減・早期復職

筋活動、血流、筋肉への酸素供給、筋萎縮、そして安全性といった要素は、下肢損傷の治癒および回復時間に直接影響を与えます。

過去の研究では、HFCの使用により筋肉の活性化が促進され、筋萎縮が抑制され、血流および酸素供給が改善されることで、回復が加速し、治癒の質も向上することが示されています。

また、松葉杖と比較してHFC使用者の転倒リスクが低いという事実は、さらなる合併症や二次的外傷の予防につながり、安全な回復プロセスに貢献します。これは、松葉杖使用によってよく見られる課題です。

さらに、膝スクーターに関する別の研究では、高い転倒率およびそれに関連した外傷が報告されており、安全性に課題があることが示唆されています。

ランダム化比較試験(RCT)では、HFCを使用した患者は、使用しなかった患者と比較して退院が早いという結果が得られています。

※詳細および引用文献は付録 A.8 を参照

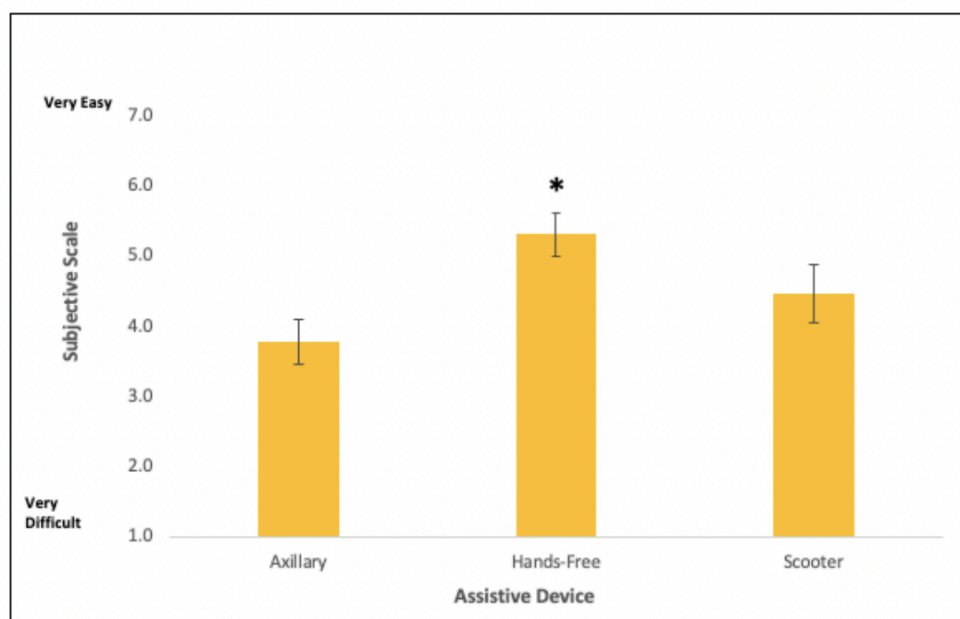
日常生活動作(ADL)の実行能力

HFCは、松葉杖や膝スクーターのように両手を使って移動する必要がないため、非荷重状態でも日常生活の多くの動作が可能です。

研究により、HFCは松葉杖や膝スクーターよりも日常生活動作の実行に優れていることが示されています。被験者たちは、HFCを使用した方が、ADLの達成が容易だと報告しています(図6)。

また、HFCの使用が容易であること、そしてその使用に対する高い好意度は、非荷重の指示に対する患者の遵守率を高めることに直結します。逆に、遵守されない場合はさらなる怪我や合併症を引き起こし、医療費の増加にもつながります。

※詳細および引用文献は付録 A.9 を参照



*= "Easier" rating than axillary (p<0.05)

Figure 6 Ease of performing activities of daily living for different mobility devices

移動補助具使用による二次的な損傷の排除

松葉杖の使用はしばしば、以下のような二次的な障害を引き起こします：

- 手根管症候群 (Carpal Tunnel Syndrome)
- 腋窩神経障害 (Axillary Nerve Damage)
- 松葉杖麻痺 (Crutch Palsy)

これらはすべて、体重を腕や手にかける構造によって発生します。一方、**HFC**は脚で体重を支える設計であるため、こうした損傷が発生することはありません。

事実、**HFC**は**2001**年の導入以来、報告された損傷ゼロという極めて安全な実績があります。

公開された研究でも、HFCを使用した被験者は、実験期間中に一切の転倒を経験しなかったことが示されています。

さらに、HFCと松葉杖を比較した研究では、HFC使用者は角運動量の変動幅が有意に少ないという結果が得られました。これは、HFCの方がバランス制御に優れ、転倒や転倒関連の損傷が少ないことを意味します。

松葉杖では、腕と脚が交互に動かないため、通常歩行とは異なる不自然な運動パターンとなり、バランスの不安定さが生じやすいと考えられています。

また、膝スクーターも手を使用して移動するという点では松葉杖と同様であり、過去の研究では高い転倒率および関連外傷の頻発が報告されています。その結果、回復が遅れる傾向も見られます。

※詳細および引用文献は付録 A.10 を参照

患者の遵守率向上

松葉杖や膝スクーターは、移動中に両手を使わなければならないため、日常生活の多くの動作（たとえば料理・育児・荷物の持ち運びなど）が困難または不可能になります。このことが、非荷重の指示に対する遵守率の低下を招き、結果として再負傷や合併症のリスクを高めることが、先行研究で報告されています。

さらに、膝スクーターは階段の昇降や狭い空間での使用に大きな制約があり、特定の環境では機能しません。

HFCは、両手が自由に使えるだけでなく、階段の昇降や狭い場所での方向転換も可能で、正常歩行に近い反復動作パターンを持っています。このような機能により、日常生活動作の実行が可能になり、非荷重の指示を守りやすくなるのです。

先行研究では、HFCは松葉杖・膝スクーターのいずれよりも日常生活動作を遂行する上で優れており、患者の好みもHFCに偏る傾向があることが示されています。これは、患者の遵守率を高め、医療的な成功率の向上にもつながります。

※詳細および引用文献は付録 A.11 を参照

疲労の軽減

松葉杖は下肢損傷時に最も一般的に使用される移動補助具ですが、多くの科学研究により、通常歩行に比べて著しく高いエネルギー消費が求められることが示されています。これが、非荷重の指示に対する遵守の低下や、さらなる怪我・合併症につながる原因ともなっています。

さらに、『Journal of Foot and Ankle Orthopaedics』に掲載された研究では、HFCの方が松葉杖よりも痛みが少ないことも明らかにされており、患者はHFC使用時に不快感や疲労感が少ないと報告しています。

直接的な研究では、通常歩行・HFC・膝スクーター・松葉杖の使用時の以下の項目が比較されました：

- 有酸素エネルギー消費量
- 栄養素（基質）利用率

- 酸素摂取量 (VO₂)

この研究では、HFC使用時の基質利用とエネルギー消費は通常歩行と有意差がないことが示されました。一方、松葉杖使用時には、運動強度や痛みスコアが高くなる傾向が見られました。

特に注目すべきは、**6分間の歩行テスト(50m/分)における酸素消費量(図7a)**と、階段昇降の容易さ(図7b)の比較結果であり、**HFC**が他の移動補助具よりも省エネルギーで機能的であることを裏付けています。

※詳細および引用文献は付録 A.12 を参照

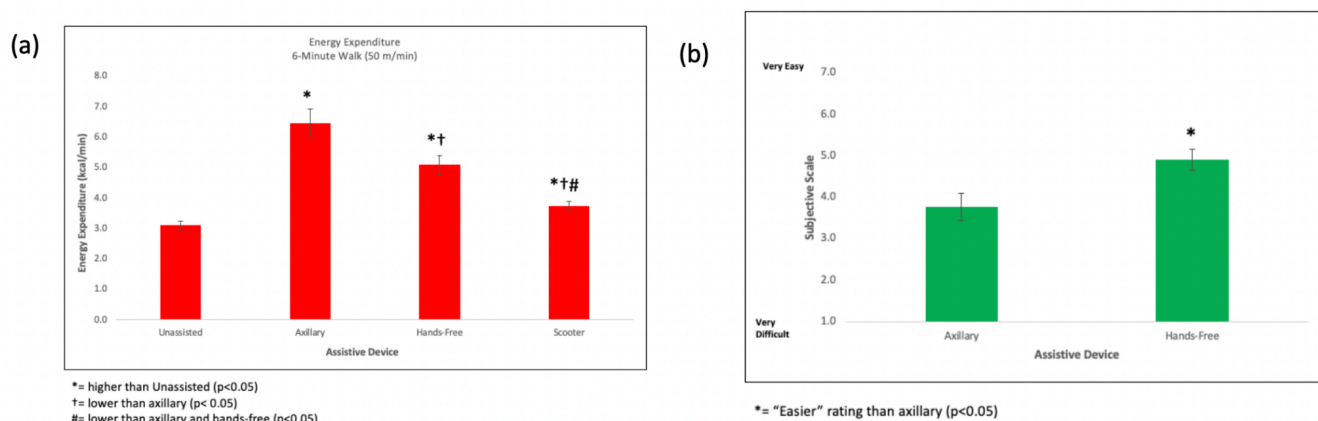


Figure 7 (a) Energy Expenditure 6-minute walk at 50m/min and (b) ease of climbing a flight of stairs

脳の可塑性変化の抑制

灰白質および白質の構造的な可塑性変化は、長期間の四肢の不動化によって生じることが確認されています。こうした可塑性の変化は、運動機能の制御に影響を及ぼすことが知られており、移動補助具の使用が**大脳皮質の厚み(灰白質)や分画異方性(白質)**に与える影響は無視できません。

HFCは、非荷重脚において正常歩行に近い筋活動を引き出すことができる、唯一の移動補助具であると研究で証明されています(松葉杖および膝スクーターとの比較)。

このため、**HFC**の使用は、センサーモーター系(感覚運動系)の再構築(リオーガナイズ)を抑制し、脳の可塑性変化を最小限にとどめる可能性が高いと考えられています。特に、長期間の非荷重が脳に与える負の影響を抑える上で、HFCは有効な選択肢となり得ます。

※詳細および引用文献は付録 A.13 を参照

付録 A.1: 患者の好み

HFC(ハンズフリー松葉杖)は、**86%**の足部および足関節の患者が松葉杖より好むと報告されています(Martinら, 2019)。この結果は他の先行研究とも一致しており、多くの研究参加者がHFCを松葉杖より好む傾向が見られます(Wiederienら, 2023)。

患者の満足度、安全性、そして好みは、非荷重の指示に従うかどうか大きな影響を与える要因であり、術後の合併症(創部の裂開、骨折固定の喪失、インプラントの破損など)を防ぐために極めて重要です(Chiodoら, 2016; Gershkovichら, 2016)。

先行研究によれば、日常生活動作(ADL)を遂行する上で、HFCは松葉杖・膝スクーターよりも好まれています。一方で、膝スクーターは階段や不整地といった環境では明確な制限があることが示されています(Canterら, 2023)。

さらに、膝スクーターが好まれない理由として、階段を登れない、**ADL**コースの一部を完了できないなどの不便さが報告されています。また、HFCが松葉杖より好まれる理由の1つとして、運動強度・心拍数・エネルギー消費・痛みのスコアがすべて低いという点も挙げられています(Canterら, 2023; Hackneyら, 2022; Martinら, 2019)。

付録 A.2: 筋活動

研究によって、HFCは非荷重脚の**股関節、太もも(大腿四頭筋)、ふくらはぎ(腓腹筋)**において、正常歩行に近いレベルの筋活動を引き出せることが証明されています(Dewarら, 2021; Dewar & Martin, 2020)。

一方、松葉杖および膝スクーターでは、非荷重脚の筋活動は統計的に有意に低下することが示されました(Clarkら, 2004; Dewarら, 2021; Sandersら, 2018; Seynnesら, 2008)。

HFCによって得られる高い筋活動レベルは、以下のような医学的利点に直接つながります：

- 筋萎縮の抑制
- 血流の増加
- 深部静脈血栓症(DVT)のリスク低減
- 治癒の促進

これらの利点は、後続の各付録(A.3以降)で詳細に扱われています。

付録 A.3: 血流

『Foot and Ankle Orthopaedics』に掲載された研究では、40人の被験者を対象に、HFC、膝スクーター、松葉杖使用後の膝裏(膝窩)血流と血管径を比較しました(Bradleyら, 2022)。

結果は以下の通りです：

- HFC使用後の血流低下は最も小さく
- 膝スクーターは顕著な血流低下
- 松葉杖は最大の血流低下を示しました

この結果は、他の先行研究とも一致しており、膝スクーターや松葉杖による血流減少が再確認されました(Ciufoら, 2019; Rebら, 2021)。

血流の減少は**DVT**の発生リスクを高める重大な問題です。座りっぱなしの8時間で血流が61%減少するという報告もあり(Kurosawaら, 2022)、その状態が48時間以上続くとDVTの発症率が大きく上がります(Teschら, 2004)。

また、血流不足は筋肉や骨への酸素供給を妨げ、治癒遅延の原因になります(Luら, 2013; Rodriguezら, 2008)。松葉杖使用時は、酸素飽和度の低下が見られたのに対し、HFCは正常歩行と同程度の酸素供給を維持していました(Bradleyら, 2023)。

加えて、膝を90度で固定する膝スクーターのような姿勢がDVTを促進する可能性があると考えられていましたが、HFCでは筋活動が高いため、そのリスクが相殺されることも示されています。

付録 A.4: 深部静脈血栓症(DVT)リスクの低減

下肢の非荷重状態にある患者は、一般人口よりも**DVT**を発症するリスクが高いとされています(Saragasら, 2014; Sullivanら, 2019)。例えば、足・足関節の手術後におけるDVTの発症率は最大で****32%****にも達するという報告があります。

このリスクは、長期の不動化により起こる以下の要因が関係しています：

- 血流の減少(Bleekerら, 2004; Bradleyら, 2022)
- 筋ポンプ機能の低下(Dewarら, 2021; Dewar & Martin, 2020)
- 酸素供給の低下(Bradleyら, 2023)

松葉杖使用による血流停滞は、ふくらはぎ周径の増加＝血液のうっ滞として観察された研究もあります(Teschら, 2004)。

しかし、HFCを使用した場合、膝窩血流および血管径に有意な減少は見られず、通常歩行と同程度を維持していました(Bradleyら, 2022)。

また、HFC使用時には筋活動が活発であるため、これが血流増加の要因であることが示唆されており、筋活動が血流に与える影響は膝屈曲角度よりも大きいとする研究とも一致しています(Rebら, 2021)。

さらに、松葉杖使用時は、大腿四頭筋や腓腹筋などで脱酸素化ヘモグロビンの増加が観察され、これはDVTリスクの指標とされています(Yamakiら, 2011)。

このように、HFCは膝を90度屈曲させる姿勢であっても、高い筋活動を維持できるため、**DVT**リスクを大幅に低減できると結論づけられています。

付録 A.5: 筋酸素供給

損傷部位の治癒や細胞レベルの代謝活動には、筋肉への酸素供給が欠かせません(Luら, 2013; Rodriguezら, 2008; Sen, 2009)。たとえば、ATPの生成や、治癒に関わる酵素活性、コラーゲン合成などに酸素が必要です。

HFC、膝スクーター、松葉杖、通常歩行の4条件下で、筋酸素飽和度を**38人**の被験者に対して測定した研究があります(Bradleyら, 2023)。

この研究では、赤外線センサーを用いて以下の筋肉をモニタリングしました：

- 外側広筋 (vastus lateralis)
- 大腿二頭筋 (biceps femoris)
- 外側腓腹筋 (lateral gastrocnemius)

その結果：

- HFCでは通常歩行と比較して有意な酸素低下は見られなかった
- 一方で松葉杖では、大腿二頭筋および腓腹筋の酸素飽和度が有意に低下

このことから、HFCは酸素供給を維持し、治癒促進・DVT予防・筋萎縮の抑制にも貢献できると考えられます。

付録 A.6: 筋萎縮

HFC使用時には非荷重脚の筋肉が活発に動くため、**使用しないことによる筋萎縮 (廃用性筋萎縮)**を抑える効果があります (Altinkaynak, 2022; Bradleyら, 2022; Dewarら, 2021)。

過去の研究では、筋活動の有無が筋萎縮の進行に強く関係していると報告されています (Clark, 2009; MacLennanら, 2020; Magillら, 2019; Sandersら, 2018)。

また、前述のとおり、HFCは筋酸素飽和度も高く維持するため、これも筋萎縮抑制に有効です。

加えて、筋肉は縮んだ状態より、伸びた状態の方が萎縮しにくいことが知られています (Booth, 1982; Booth & Gollnick, 1983)。

HFCでは膝が90°に固定されており、筋肉が伸張された状態を保つため、松葉杖 (30°屈曲) よりも萎縮しにくい構造です (Altinkaynak, 2022)。

松葉杖使用によっては、筋量の減少や筋繊維の構造変化、筋力低下が報告されています (De Boerら, 2008; Hatherら, 1992; Teschら, 2016)。

ありがとうございます。それでは、付録 A.7～A.9 を翻訳いたします。

付録 A.7: 安定性 (Stability)

アイオワ大学理学療法・リハビリテーション科学科の歩行安定性と転倒研究の専門家 **Jason Wilken** 博士による研究では、HFCと松葉杖の歩行中における全身角運動量の範囲を比較することで、歩行の安定性を検証しました (Wiederienら, 2023)。

研究結果：

- HFC使用時の角運動量の変動範囲は松葉杖使用時よりも有意に小さい

- 歩行ブーツ併用の有無にかかわらず、HFCの方がバランス制御に優れている

全身角運動量は人の歩行中のバランス維持に重要な指標です。とくに、矢状面（前後方向）の角運動量の変動が大きいほど、転倒リスクが高くなることが複数の研究で示されています。

この研究では、HFC使用時の角運動量パターンが正常歩行に最も近い正弦波状を示すことも判明しました。一方、松葉杖では歩行周期の前半で角運動量が負の方向に偏り、後半で大きな正のピークを示す「スイングスルー」歩行となっていました。

この差は転倒リスクと関連しており、HFC使用者の方がより安全に歩行できることを示しています。

他の研究でも、**HFC**の方が安全性が高く、患者からの安心感が大きいことが報告されています（Rambaniら, 2007; Canterら, 2023; Martinら, 2019）。

付録 A.8: 回復時間 (Recovery Time)

80名の患者を対象としたランダム化比較試験(RCT)では、HFCを使用した群が使用しなかった群よりも早く退院したという結果が得られています（Rambaniら, 2007）。

HFCによる以下の効果が、回復時間の短縮に寄与しています：

- 筋萎縮の抑制
- 血流の改善
- 酸素供給の増加
- **DVT**や肺血栓塞栓症のリスク低減

一方で、松葉杖の使用は大腿四頭筋の横断面積を1日あたり約**0.4%**減少させると報告されており（Clarkら, 2004）、これがリハビリテーションや回復の遅延につながる可能性があります。

また、転倒による二次的外傷は、膝スクーターや松葉杖使用時にしばしば見られる問題であり（Rahmanら, 2020; Yeohら, 2017）、それらがさらなる治療と入院延長を引き起こすことも考えられます。

HFCはこれらのリスクを最小限に抑えることで、より迅速かつ安全な回復を実現します（Wiederienら, 2023）。

付録 A.9: 日常生活動作 (Activities of Daily Living, ADLs)

HFCは手を使わずに移動できる唯一のモビリティデバイスであり、松葉杖や膝スクーターでは難しい、以下のような日常動作が可能です：

- 料理や洗濯
- 買い物

- 子育て・介護
- 階段の上り下り
- 狭い場所での移動

80人の上肢・下肢損傷患者を対象としたRCTでは、HFC使用者が家庭内での動作を問題なく行えたことが示されました(Rambaniら, 2007)。

また、HFC使用者はより**前向きな生活意識(QOLの向上)**を持つようになったと報告されています(Barthら, 2019)。

マイアミ大学のDr. TimmermanとDr. Reidylによる研究(Canterら, 2023)では、HFC・松葉杖・膝スクーターの3種を用いたADL遂行能力の比較が行われ、以下の結果が得られました:

- HFCが最も使いやすく、移動・階段・**ADL**遂行のすべてにおいて高評価
- 膝スクーターは階段や不整地で著しい制限がある
- HFCは心拍数・主観的疲労・エネルギー消費も最も低かった

このように、HFCはADLの達成を支援し、患者の自立度と生活満足度を大きく高めるデバイスであることが証明されています。

ありがとうございます。それでは最後のパート、付録 **A.10**～**A.13** の翻訳をお届けします。

付録 **A.10**: 二次的損傷(Secondary Injuries)

松葉杖は最も多く処方される補助器具ですが(Kayeら, 2000; Martinら, 2019; Rambaniら, 2007)、長期使用により多くの二次的障害が報告されています(Daltonら, 2002; Manochaら, 2021)。

松葉杖に関連する主な二次的障害:

- 腋窩動脈血栓症(McFallら, 2004; Tripp & Cook, 1998)
- 松葉杖麻痺(腕神経叢の圧迫性神経障害)(Raikin & Froimson, 1997)
- 手根管症候群(Gellmanら, 1988)
- 肩関節の変性(Shabas & Scheiber, 1986)

一方、HFCは上肢や手に荷重をかけることがない構造であるため、こうした障害は一切報告されていません。

また、膝スクーターも転倒率が高く、外傷のリスクが大きいため、HFCより安全性が劣ります(Rahmanら, 2020; Yeohら, 2017)。

HFC使用者は転倒リスクが少なく、安定性が高いため、移動中の二次的なケガを防ぐことができます(Wiederienら, 2023)。

付録 A.11: 患者の遵守(Patient Compliance)

HFCは、非荷重の指示遵守率を高めるという点で優れた特性を持っています。

研究では、以下の理由によりHFCが患者に好まれていることが示されています(Canterら, 2023; Martinら, 2019; Wiederienら, 2023)：

- 日常生活動作が可能(Canterら, 2023; Rambaniら, 2007)
- 両手が使えることで自立性が向上し、精神的にも前向きになれる(Barthら, 2019)

松葉杖使用時は、痛み・不快感・生活の制限により患者が非荷重指示を守らず、再負傷や以下の合併症につながるリスクがあります(Chiodoら, 2016; Gershkovichら, 2016)：

- 創部の裂開
- 骨折固定のゆるみ
- インプラント破損

HFCを使用することで、指示の遵守が容易になり、合併症の発生リスクを下げるすることができます。

付録 A.12: エネルギー消費(Energy Expenditure)

松葉杖は通常歩行に比べてエネルギー消費量が著しく高くなることが多数の研究で報告されています(Dounisら, 1980; Holderら, 1993; Mcbeathら, 1974; Nielsenら, 1990; Thysら, 1996)。

この高い負荷は、非荷重の指示を守れない主因となり、使用中止や再負傷につながる可能性があります(Bateni & Maki, 2005)。

HFC、松葉杖、膝スクーターの3種について、ポータブル代謝測定器を用いた比較研究では以下の結果が出ました(Hackneyら, 2022)：

- HFCの基質利用とエネルギー消費は通常歩行に最も近く、最も低い
- 両手が自由に使えるため、ADL遂行が可能

また、別の研究では、HFC使用時の方が以下の点で優れていたと報告されています(Canterら, 2023)：

- ADLコースをすべて完了できた唯一の補助具
- 使用後の主観的「使用のしやすさスコア」が最も高かった

- 心拍数・疲労感・エネルギー消費が最も低かった

これにより、HFCは身体的負担が少なく、日常生活を無理なく支える補助具であることが実証されています。

付録 A.13: 脳の可塑性 (Brain Plasticity)

四肢の長期固定は、脳の構造的な可塑性(変化)を引き起こすことが確認されています (Langerら, 2012)。

具体的には:

- 運動皮質(感覚・運動情報を処理する領域)の皮質厚の減少(灰白質)
- 白質(脳内情報伝達路)の機能低下

これにより、運動制御能力が低下する可能性があります。

HFCは、非荷重脚において正常歩行に近い筋活動を再現できる唯一の補助具であるため (Dewarら, 2021; Dewar & Martin, 2020)、

- 感覚運動系の再構築(リオーガナイズ)
- 脳構造の退行的変化

といった不利な脳の可塑性変化を最小限に抑える効果が期待されています。

参考文献一覧 (References)

Altinkaynak, E. (2022)

非荷重による筋萎縮をHFCが軽減することを示す研究。

タイトル: 「Hands-Free Crutch Reduces the Muscle Atrophy Attributed to Non-Weight Bearing Injuries」

DOI: <https://doi.org/10.31219/osf.io/qac95>

Barth, U. 他 (2019)

切断後の患者に対する新しい装具による代替的なモビリゼーションの研究。

掲載誌: Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie, 158(01), 75-80.

Bateni, H. & Maki, B.E. (2005)

バランス・移動支援デバイスの利点・負荷・副作用に関するレビュー。

掲載誌: Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 86(1), 134-145.

Bennett, B.C. 他 (2010)

歩行速度別における角運動量の解析。

掲載誌: Human Movement Science, 29(1), 114-124.

Bhambani, Y. & Clarkson, H. (1989)

歩行・松葉杖歩行・ランニングの生理的および知覚的応答の比較研究。

掲載誌: Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 70(6), 445–450.

Bleeker, M.W. 他 (2004)

片脚の非使用が深部静脈血栓症 (DVT) を引き起こす可能性に関する報告。

掲載誌: American Journal of Physiology – Regulatory, Integrative and Comparative Physiology, 286(6), R1176–R1177.

Booth, F.W. (1982)

四肢の不動化が骨格筋に与える影響。

掲載誌: Journal of Applied Physiology, 52(5), 1113–1118.

Booth, F.W. & Gollnick, P.D. (1983)

運動制限が筋構造と機能に与える影響。

掲載誌: Medicine & Science in Sports & Exercise, 15(5), 415–420.

Bradley, A.P. 他 (2022)

下肢損傷用モビリティデバイス使用後の膝窩血流に関する研究。

掲載誌: Foot & Ankle Orthopaedics, 7(4).

DOI: <https://doi.org/10.1177/24730114221142784>

Bradley, A.P. 他 (2023)

HFCおよび他の補助具使用時の筋酸素飽和度の低下に関する研究。

掲載誌: Frontiers in Sports and Active Living, 5.

DOI: <https://doi.org/10.3389/fspor.2023.1210880>

Bradley, S.M. & Hernandez, C.R. (2011)

高齢者向け支援デバイスの概要とその機能。

掲載誌: American Family Physician, 84(4), 405–411.

Broderick, B.J. 他 (2009)

ベッド上安静時の静脈血流と筋電気刺激の影響に関する研究。

掲載誌: Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, pp. 2149–2152.

DOI: <https://doi.org/10.1109/IEMBS.2009.5332561>

Canter, D.J. 他 (2023)

HFC、松葉杖、膝スクーターにおけるエネルギー消費および主観的疲労感の比較研究。

掲載誌: PM&R (Physical Medicine and Rehabilitation)

DOI: <https://doi.org/10.1002/pmrj.13109>

Chiodo, C.P. 他 (2016)

下肢手術後の非荷重遵守に関する患者行動の研究。

掲載誌: Journal of Bone and Joint Surgery (JBJS), 98(18), 1563–1567.

Ciufo, D.J. 他 (2019)

膝スクーター使用時の屈曲位が静脈血流に与える影響。

掲載誌: Foot & Ankle International, 40(1), 80–84.

Clark, B.C. (2009)

不使用による筋萎縮後の筋の形態と機能の変化に関するレビュー。

掲載誌: Medicine & Science in Sports & Exercise, 41(10), 1869–1875.

Clark, B.C. 他(2004)

補助具使用時の体重負荷レベルの違いによる脚筋活動の変化。

掲載誌: Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 85(9), 1555–1560.

Dalton, A.J. 他(2002)

従来の腋窩松葉杖とハンズフリークラッチの臨床評価比較。

掲載誌: Physiotherapy Canada, 54(2), 110–115.

De Boer, M.D. 他(2008)

5週間の仰臥位臥床による荷重・非荷重筋の厚みと構造の変化。

掲載誌: European Journal of Applied Physiology, 104(2), 401–407.

Dewar, C. 他(2021)

HFCと膝スクーター使用時の筋電図(EMG)活動の比較。

掲載誌: Foot & Ankle Orthopaedics, 6(4), 1–8.

DOI: <https://doi.org/10.1177/24730114211060054>

Dewar, C. & Martin, K.D. (2020)

HFCと腋窩松葉杖使用時の下肢筋のEMG比較。

掲載誌: Foot & Ankle Orthopaedics, 5(3), 2473011420939875.

Dounis, E. 他(1980)

酸素消費量を用いた3種類の松葉杖の効率比較。

掲載誌: Rheumatology, 19(4), 252–255.

Faghri, P.D. 他(1997)

人工関節置換術後の血液うっ滞を減らす筋電気刺激の効果。

掲載誌: IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering, 5(1), 62–69.

Faruqui, S.R. & Jaebon, T. (2010)

整形外科領域における移動補助具の使用と改良。

掲載誌: Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons, 18(1), 41–50.

Ferretti, G. 他(2022)

運動時の酸素供給と筋エネルギー需要に関する100年間の知見。

掲載誌: European Journal of Applied Physiology, 122(6), 1317–1365.

Fong, G.H. (2009)

酸素センシング機構による血管新生の調節。

掲載誌: Journal of Molecular Medicine, 87(6), 549–560.

Gellman, H. 他(1988)

対麻痺患者における手根管症候群の報告。

掲載誌: Journal of Bone and Joint Surgery (Am), 70(4), 517–519.

Gershkovich, G. 他(2016)

足・足関節手術後の体重負荷遵守率の調査。

掲載誌: Foot & Ankle Orthopaedics, 1(1).

Hackney, K.J. 他(2022)

HFC、松葉杖、膝スクーター使用時のエネルギー消費・基質利用の比較。

掲載誌: Foot & Ankle Orthopaedics, 7(4).

DOI: <https://doi.org/10.1177/24730114221139800>

Hather, B.M. 他 (1992)

下肢懸垂による骨格筋の反応に関する研究。

掲載誌: Journal of Applied Physiology, 72(4), 1493–1498.

Hefflin, B.J. 他 (2004)

救急部門における医療機器関連の有害事象の推定。

掲載誌: American Journal of Preventive Medicine, 27(3), 246–253.

Herr, H. & Popovic, M. (2008)

人間の歩行における角運動量の役割。

掲載誌: Journal of Experimental Biology, 211(4), 467–481.

Holder, C.G. 他 (1993)

補助具使用時の酸素消費・心血管ストレス・知覚負荷の比較。

掲載誌: Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy, 18(4), 537–542.

Kaye, H.S. 他 (2000)

米国における移動補助具の使用に関する統計報告。

報告書: Disability Statistics Report 14.

Kubiak, E.N. 他 (2013)

成人の下肢骨折後の早期荷重開始に関する文献レビュー。

掲載誌: Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons (JAAOS), 21(12), 727–738.

Kurosawa, Y. 他 (2022)

弾性衣類の有無による長時間座位が四肢の血流・筋酸素供給に与える影響。

掲載誌: Medicine & Science in Sports & Exercise, 54(3), 399–407.

Langer, N. 他 (2012)

四肢の固定が脳の可塑性に与える影響。

掲載誌: Neurology, 78(3), 182–188.

Lu, C. 他 (2013)

骨折治癒における酸素の役割。

掲載誌: Bone, 52(1), 220–229.

MacLennan, R.J. 他 (2020)

2週間の膝関節固定による筋質と筋量の低下の比較。

掲載誌: PeerJ, 8, e8224.

Magill, H.H.P. 他 (2019)

Lisfranc損傷に対する観血的整復内固定術と初回関節固定術の比較。

掲載誌: Journal of Foot & Ankle Surgery, 58(2), 328–332.

Manocha, R.H.K. 他 (2021)

松葉杖使用に伴う損傷に関するナラティブレビュー。

掲載誌: PM&R, 13(10), 1176–1192.

Martin, K.D. 他 (2019)

HFCと従来型腋窩松葉杖に対する足・足関節患者の好みと身体的負荷の比較。

掲載誌: Foot & Ankle International, 40(10), 1203–1208.

McBeath, A.A. 他(1974)

酸素消費測定による補助歩行効率の評価。

掲載誌: Journal of Bone and Joint Surgery, 56(5), 994–1000.

McFall, B. 他(2004)

松葉杖による腋窩動脈損傷の症例報告。

掲載誌: Ulster Medical Journal, 73(1), 50.

McLachlin, A.D. 他(1960)

下肢の静脈うっ滞に関する古典的研究。

掲載誌: Annals of Surgery, 152(4), 678.

Nielsen, D.H. 他(1990)

標準型およびロッカーボトム型松葉杖使用時の歩行効率と運動強度の比較。

掲載誌: Physical Therapy, 70(8), 487–493.

Nolasco, L.A. 他(2019)

90度方向転換時の全身および体節ごとの角運動量。

掲載誌: Gait & Posture, 70, 12–19.

Nott, C.R. 他(2014)

脳卒中後の片麻痺歩行における矢状面角運動量と臨床バランス指標の関係。

掲載誌: Gait & Posture, 39(1), 129–134.

Pickle, N.T. 他(2017)

ランブ歩行時におけるパワー付き義足と受動義足の比較。

掲載誌: IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics, pp. 1609–1614.

Pickle, N.T. 他(2014)

階段昇降時の全身角運動量: 受動義足とパワー義足の比較。

掲載誌: Journal of Biomechanics, 47(13), 3380–3389.

Rahman, R. 他(2020)

膝スクーター関連の転倒および外傷に関する足・足関節外科医の調査。

掲載誌: Foot & Ankle Orthopaedics, 5(1), 2473011420914561.

Raikin, S. & Froimson, M.I. (1997)

両側性の松葉杖麻痺の症例報告。

掲載誌: Journal of Orthopaedic Trauma, 11(2), 136–138.

Rambani, R. 他(2007)

HFC使用による患者のモビリゼーション効果に関するRCT。

掲載誌: International Journal of Rehabilitation Research, 30(4), 357–359.

Rasouli, F. & Reed, K.B. (2020)

松葉杖による歩行支援の最新動向に関するレビュー。

掲載誌: Journal of Biomechanics, 98, 109489.

Reb, C.W. 他(2021)

膝屈曲が膝窩静脈血流に与える悪影響と、筋ポンプ活動によるその相殺効果。

掲載誌: Foot & Ankle Specialist.

DOI: <https://doi.org/10.1177/1938640021997275>

Robert, T. 他(2009)

歩行中における角運動量シナジーの解析。

掲載誌: Experimental Brain Research, 197(2), 185–197.

Rodriguez, P.G. 他(2008)

創傷治癒における酸素の役割に関する文献レビュー。

掲載誌: Dermatologic Surgery, 34(9), 1159–1169.

Sanders, M. 他(2018)

歩行補助具が下肢筋活動に与える影響。

掲載誌: Journal of Sport Rehabilitation, 27(3), 230–236.

Sankarankutty, M. 他(1979)

3種類の松葉杖によるスイングスルー歩行の効率比較。

掲載誌: Journal of Biomedical Engineering, 1(1), 55–57.

Saragas, N.P. 他(2014)

足・足関節手術におけるVTE(静脈血栓塞栓症)予防対策の有効性。

掲載誌: Foot & Ankle Surgery, 20(2), 85–89.

Sen, C.K. (2009)

創傷治癒の基本としての酸素供給の重要性。

掲載誌: Wound Repair and Regeneration, 17(1), 1–18.

Seynnes, O.R. 他(2008)

ヒトの腓腹筋における初期の構造適応: 非荷重による影響。

掲載誌: Acta Physiologica, 193(3), 265–274.

Shabas, D. & Scheiber, M. (1986)

松葉杖使用に関連した肩甲上神経障害の症例。

掲載誌: American Journal of Physical Medicine, 65(6), 298–300.

Sheehan, R.C. 他(2015)

切断者の歩行時における前後方向角運動量の変化。

掲載誌: Gait & Posture, 41(3), 795–800.

Silverman, A.K. & Neptune, R.R. (2011)

膝下切断者と健常者の歩行時の角運動量の比較。

掲載誌: Journal of Biomechanics, 44(3), 379–385.

Silverman, A.K. 他(2014)

階段昇降中の全身角運動量の分析。

掲載誌: Gait & Posture, 39(4), 1109–1114.

Sullivan, M. 他(2019)

足・足関節手術後の低リスク患者におけるDVTの有病率。

掲載誌: Foot & Ankle International, 40(3), 330–335.

Tesch, P.A. 他(2016)

片脚懸垂の研究手法と分子応答。

掲載誌: Journal of Applied Physiology, 120(10), 1207–1214.

Tesch, P.A. 他 (2004)

長期不使用筋へのレジスタンストレーニングによる筋肥大。
掲載誌: Journal of Applied Physiology, 96(4), 1451–1458.

Thys, H. 他 (1996)

肘松葉杖によるスイングスルー歩行のエネルギーコスト・力学的仕事・筋効率。
掲載誌: Journal of Biomechanics, 29(11), 1473–1482.

Tripp, H.F. & Cook, J.W. (1998)

腋窩動脈瘤の報告。
掲載誌: Military Medicine, 163(9), 653–655.

Vinay, K. 他 (2021)

下肢血栓予防および運動用デバイスの設計。
掲載誌: IEEE Journal of Translational Engineering in Health and Medicine, 9, 2100107.

Vistamehr, A. 他 (2016)

脳卒中患者における動的バランス指標間の相関。
掲載誌: Journal of Biomechanics, 49(13), 3127.

Wiederien, R.C. 他 (2023)

松葉杖および歩行ブーツ使用時の全身角運動量の比較。
掲載誌: Assistive Technology, 1–9.

Yamaki, T. 他 (2011)

膝・股関節全置換術後のDVTリスクと術前筋脱酸素化の関係。
掲載誌: Journal of Vascular Surgery, 54(6 Suppl), 39S–47S.

Yeoh, J. 他 (2017)

足・足関節手術後の膝スクーター使用に関する後ろ向き研究。
掲載誌: Foot & Ankle Orthopaedics, 2(3), 2473011417S2473000419.

Zhang, X. 他 (2002)

骨修復におけるCOX-2の役割と幹細胞分化への影響。
掲載誌: Journal of Clinical Investigation, 109(11), 1405–1415.