

運動器理学療法学

Journal of Musculoskeletal Physical Therapy

日本運動器理学療法学会機関誌

2022 Vol.2

運動器理学療法学 第2巻

目次

研究論文（原著）

鏡視下腱板修復術後の装具装着下での退院が再断裂率，健側・患側肩関節機能に与える影響について	伊藤 雄 松本 尚 山口聖太 石田知也 末永直樹 大泉尚美 ...	1
---	--------------------------------------	---

鏡視下腱板修復術後患者の術後6ヵ月時の臨床成績に影響を及ぼす因子とカットオフ値の検討	瀬尾充弘 兵頭 惇 土田直樹 中井秀和 勝田紘史 ...	13
--	---------------------------------	----

手術療法後の変形性股関節症患者に対する歩行異常性の観察評価と三次元歩行解析データとの基準関連妥当性の検討	富岡真光 原田和宏 山科俊輔 山崎 倫 宇治村信明 ...	21
--	----------------------------------	----

インソール型荷重モニタリングデバイスを用いたフィードバックが部分荷重の学習に与える効果	佐藤秀夏 中野渡達哉 石屋俊輔 神先秀人 ...	32
---	--------------------------	----

短 報

健常高齢女性の歩行時における腕振り角度，および腕振り非対称性と脊柱回旋との関連	加藤 浩 石川 仁 南澤忠儀 藤田 努 岡澤和哉 奈須勇樹 ...	41
---	--------------------------------------	----

そ の 他

世界における遠隔リハビリテーションの実態調査と報告	吉川光司 対馬栄輝 ...	47
---------------------------------	---------------	----

研究論文 (原著)

鏡視下腱板修復術後の装具装着下での退院が再断裂率、健側・患側肩関節機能に与える影響について*

伊藤 雄^{1) #} 松本 尚¹⁾ 山口聖太¹⁾
石田知也²⁾ 末永直樹³⁾ 大泉尚美³⁾

【目的】鏡視下腱板修復術（以下、ARCR）後に装具固定中に退院することが再断裂率、健側・患側肩関節機能に与える影響を調査すること。【方法】ARCR術後の65歳以上の女性91名を装着固定中に自宅退院した退院群48名、装具除去まで入院を継続した入院群43名に分類し、術前および術後各時期における肩関節可動域、等尺性筋力、肩機能スコア、再断裂率を健側、患側共に比較検討した。【結果】再断裂率および術後3ヵ月の他動屈曲、外転、2nd外旋可動域を除いた肩関節可動域において術前、術後各時期で両群間に有意差を認めず、術後6、12ヵ月時の肩・肘関節筋力、肩機能スコアにおいて退院群で有意に良好であった。【結論】安全なADL、セルフエクササイズ実施方法を指導して装具固定中に退院することは、再断裂、関節可動域制限のリスクを増加することなく、良好な肩関節機能を得ることができる可能性が示された。

キーワード 鏡視下腱板修復術、肩関節機能、装具装着下退院

はじめに

肩腱板断裂は肩の疼痛、筋力低下、関節可動域制限の原因となる日常診療で良く遭遇する一般的な肩の疾患である¹⁾²⁾。肩腱板断裂を有する者のうち約65%が無症候性と報告されているが³⁾⁴⁾、無症候性腱板断裂症例の内、約37～63%が5年後に症候性腱板断裂に移行している

との報告もあり⁵⁾、理学療法を含む保存療法に抵抗性を示した際には腱板修復術が選択される。近年、棘上筋腱に対する腱板修復術の多くは鏡視下にて行われるようになってきており、その治療成績は良好であると報告されている⁶⁻⁹⁾。

腱修復術後は修復腱の組織治癒のために4～6週の装具による外固定を行う場合が多く¹⁰⁾¹¹⁾、装具固定期間中は、腱板筋の収縮を避けるために患肢の使用を制限する必要がある、ADLにも一定の制限が生じる。そのため自宅に必要な介助を受けることができない場合は、装具固定除去まで入院が必要になる。しかしながら、長期間の入院は患者への身体的・精神的ストレスが大きく、医療制度や医療経済的側面からも近年では腱板修復術後の入院期間を短縮する傾向にあり、装具固定期間中であっても、外来通院にて治療することが多くなっている¹²⁻¹⁴⁾。

装具固定期間中に退院する際に考慮すべき点としては、腱板再断裂につながる危険動作と、不十分なセルフエクササイズによる肩関節可動域制限の残存が挙げられる。腱板修復術後の再断裂の危険因子として、年齢¹⁵⁾、critical shoulder angleや術前断裂サイズなどの解剖学的因子¹⁶⁻¹⁸⁾、高脂血症や糖尿病などの代謝性疾患の有無¹⁸⁾¹⁹⁾、

* The Effects of Hospital Discharge with a Brace for the Retear Rate and Bilateral Shoulder Functions after Arthroscopic Rotator Cuff Repair

1) 整形外科北新病院リハビリテーション科

(〒060-0908 北海道札幌市東区北8条東4丁目1番5号)
Yu Ito, PT, JSPO-AT, MSc, Hisashi Matsumoto, PT, JSPO-AT, Shota Yamaguchi, PT: Department of Rehabilitation, Orthopaedic Hokushin Hospital

2) 北海道大学大学院保健科学研究院

Tomoya Ishida, PT, JSPO-AT, PhD: Faculty of Health Sciences, Hokkaido University

3) 整形外科北新病院上肢人工関節・内視鏡センター

Naoki Suenaga, MD, PhD, Naomi Oizumi, MD, PhD: Upper Extremity Center of Joint Replacement & Endoscopy, Orthopaedic Hokushin Hospital

E-mail: y-ito0807@hokushin-hp.or.jp

(受付日 2022年2月1日/受理日 2022年5月16日)

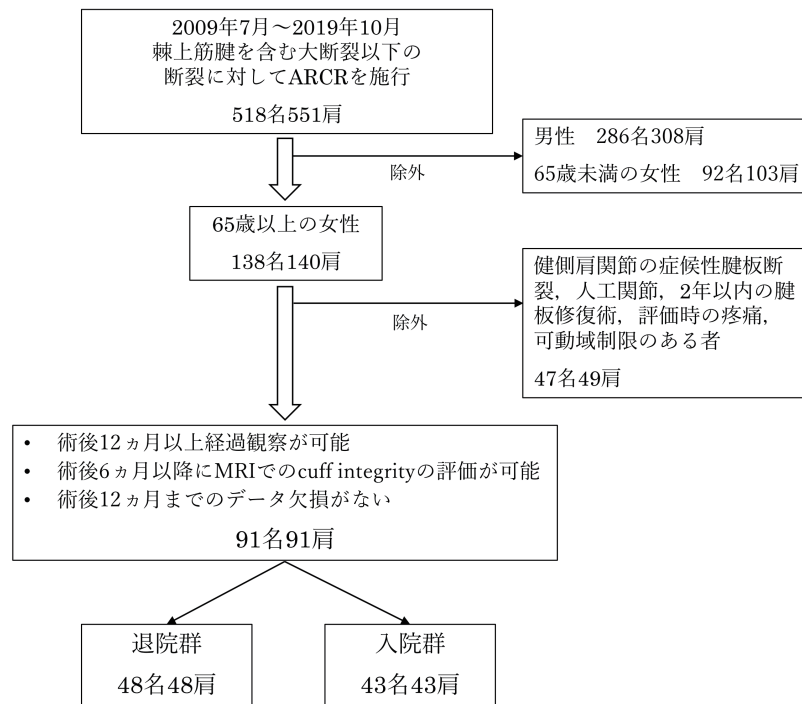


図1 対象者選定フローチャート

患肢使用制限の理解とコンプライアンスなどの患者因子²⁰⁾が報告されている。この中でも患肢使用制限のコンプライアンスに対する意識は重要であり、再断裂を来した患者はコンプライアンスに対する意識が低かったと報告されている²⁰⁾。一方、装具固定期間中に退院した場合も、入院中に理学療法士、看護師による適切なADL指導を行うことにより、装具除去まで入院した群と危険動作の発生率に差はなかったという報告もあり¹⁴⁾、装具固定期間中に退院をする患者に対しては安全なADL指導と、再断裂の危険性に関する理解を促すことが術後の再断裂を防ぐために重要であると考えられる。しかしながら、ADL指導の後に装具固定期間中に退院をした場合と装具除去まで入院を継続した場合で再断裂率を比較した研究はない。また、腱板修復術後早期の可動域制限はその後の可動域制限に影響することも報告されており²¹⁾、良好な可動域獲得には装具固定期間を含む術後早期のリハビリテーションは重要であると考えられる。装具固定期間中に自宅に退院をした患者は、入院継続している患者よりもセルフエクササイズの影響が大きくなるため、関節可動域改善をはじめとする肩関節機能に与える影響を調査することも重要である。

本研究の目的は、鏡視下腱板修復術（以下、ARCRR）後に装具固定期間中に自宅退院した患者と、装具除去まで入院を継続した患者との間で再断裂率、患側肩関節可動域、肩関節機能スコア、健側および患側肩・肘関節等

尺性筋力を比較することとした。仮説は、術後、両群間に再断裂率、肩関節可動域、等尺性筋力、肩関節機能スコアの差はないとした。

対象と方法

1. 対象

2009年7月～2019年10月に当院にて棘上筋腱を含む大断裂以下の断裂に対してARCRRを施行した症例の内、腱の修復や肩関節機能回復に影響を与えると思われる仕事への従事、家庭内における役割などを考慮して、65歳以上の女性を対象を限定し、後方視的検討を行った。さらに、術後12ヵ月以上経過観察が可能であった者、術後6ヵ月以降にMRIにてcuff integrityの評価が可能であった者を包含基準とした（図1）。除外基準は、健側肩関節の症候性腱板断裂、健側の人工肩関節あるいは人工骨頭手術歴、健側の2年以内の腱板修復手術歴、健側肩関節の評価時の疼痛や関節可動域制限、評価結果および術後プロトコルの遵守に影響を与え得る健側上肢、下肢の神経学的、整形外科的、内科的既往歴、併存疾患を有するものとした。

基準を満たした91名91肩を装具装着した状態で退院をした48名（以下、退院群）と装具除去まで入院を継続し、装具除去した後に退院した43名（以下、入院群）の2群に分類した（図1、表1）。

表 1 各群の人口統計学的データ、入院期間、通院頻度、再断裂率

	退院群 (n=48)	入院群 (n=43)	P 値
年齢 (歳)	71.3 ± 4.0	71.7 ± 5.6	0.870
身長 (cm)	150.8 ± 4.5	149.0 ± 5.3	0.161
体重 (kg)	54.7 ± 6.3	55.6 ± 10.6	0.699
患側 (右), n (%)	40 (83%)	34 (79%)	0.602
断裂サイズ, n (%)			
不全	8 (17%)	12 (28%)	0.196
小	5 (10%)	5 (12%)	0.853
中	30 (63%)	22 (51%)	0.275
大	5 (10%)	4 (9%)	0.859
術式			
Surface-holding 法	46 (96%)	43 (95%)	0.947
Suture bridge 法	2 (4%)	2 (5%)	
手術時期 (中央値) (25% -75%)	2016/12/1 (2015/4/4-2018/3/31)	2017/2/1 (2014/1/11-2018/10/3)	0.196
入院期間 (日)	22.7 ± 5.8	55.3 ± 15.2	<0.001
リハビリ総回数 (回)	51.5 ± 16.7	73.9 ± 19.7	<0.001
Sugaya 分類, n (%)			
Type 1	40 (83%)	34 (79%)	0.604
Type 2	6 (13%)	8 (19%)	0.420
Type 3	1 (2%)	0	0.341
Type 4	0	0	-
Type 5	1 (2%)	1 (2%)	0.937
再断裂率, n (%)	1 (2%)	1 (2%)	0.937

手術時期に関しては基準日 (2020 年 4 月 1 日) からの日数を群間比較
P 値は退院群と入院群の群間比較

2. 術後療法

術後全例外転枕装具 (アービーブレース[®], メディカル池田, 札幌) を 6 週間装着した。術翌日より肩甲帯、肘・手関節の自動運動を開始、術後 2 日目から背臥位での自動介助による肩関節可動域運動を開始した。術後 6 週に装具除去し、屈曲 90° 以下での患側の自動運動を、術後 8 週より抗重力下での 90° 以上の肩関節自動前方挙上運動を、術後 12 週より重錘やチューブを使用した抵抗運動を開始した。デスクワークは装具除去直後から、軽作業は術後 3 ヶ月から、重労働およびスポーツは術後 6 ヶ月以降に許可をした。対象には術後療法に準じた運動をセルフエクササイズとして安全に行えるよう指導を行い、積極的に病棟自室でのセルフエクササイズ実施を促した。また、術後可及的早期から安全な装具着脱、上衣の更衣、入浴方法、その他危険な ADL 動作についてパンフレットを使用しながら指導を行った (図 2)。装具の着脱、上衣の更衣、入浴、セルフエクササイズが安全に行えることを理学療法士、病棟看護師が確認できた後、希望のある患者に関しては自宅退院を許可し、外来

リハビリテーションへと移行した。

3. 評価項目

評価項目は、手術時期、術前の断裂サイズ (Cofield 分類)²²⁾、術後 6 ヶ月までのリハビリテーションの総回数、術後 6 ヶ月以降に撮影を行った MRI における修復腱の cuff integrity、術前、術後 6、12 ヶ月の患側肩関節可動域、肩関節機能スコア、健側および患側肩・肘関節等尺性筋力とし、肩関節可動域は術後 3 週、3 ヶ月も評価を行った。修復腱の cuff integrity は Sugaya 分類²³⁾ を用いて主治医が評価を行い、type 4、5 を再断裂と定義し各群の再断裂率を算出した。リハビリテーションの総回数に関しては、入院時に実施したリハビリテーションの回数に外来通院にて行ったリハビリテーションの回数を足して算出した。

肩関節可動域はゴニオメーターを使用して、患側の自動および他動での屈曲、外転、下垂位外旋 (以下、1st 外旋)、他動での肩関節外転 90° での外旋および内旋 (以下、2nd 外旋、内旋) を日本整形外科学会・日本リハビ

(a)



(b)



図2 腱板断裂術後患者指導用パンフレット

- (a) 装具着用中、除去後のADLにおける注意事項などをパンフレットにて説明（一部抜粋）
(b) 装具着脱，更衣，入浴時の器具の着脱の方法を説明・指導（一部抜粋）

リテーション医学会が推奨する方法²⁴⁾に準拠し担当理学療法士が測定を行った。

肩・肘関節等尺性筋力はハンドヘルドダイナモメーター（anima社製、 μ TAS）を用い、先行研究に準拠し肩関節屈曲、外転、1st外旋・内旋、2nd外旋、肘関節屈曲、伸展を健側、患側の順に測定を行った（図3）。等尺性筋力測定は先行研究の方法に準じて行い、検者内、検者間再現性はそれぞれICC 0.93～0.98、0.81～0.93と報告されている²⁵⁾。対象者には事前に測定方法に関する説明を十分に行い、各肢位において5秒間の最大等尺性収縮を2回行い、最大値を記録した。

肩関節機能スコアは、客観的肩機能スコアとして日本整形外科学会肩関節疾患治療成績判定基準（以下、JOAスコア）、Constantスコア、UCLAスコアを担当理学療法士が測定し点数を算出した。また、主観的肩機能スコアとしてShoulder 36（以下、Sh36）スコア、DASH機能スコアを患者自身に回答してもらい点数を算出した。Sh36スコア（疼痛、筋力、可動域、日常生活機能、健康感領域）、DASH機能スコアを各質問項目点数からマニュアルに準じて算出した。

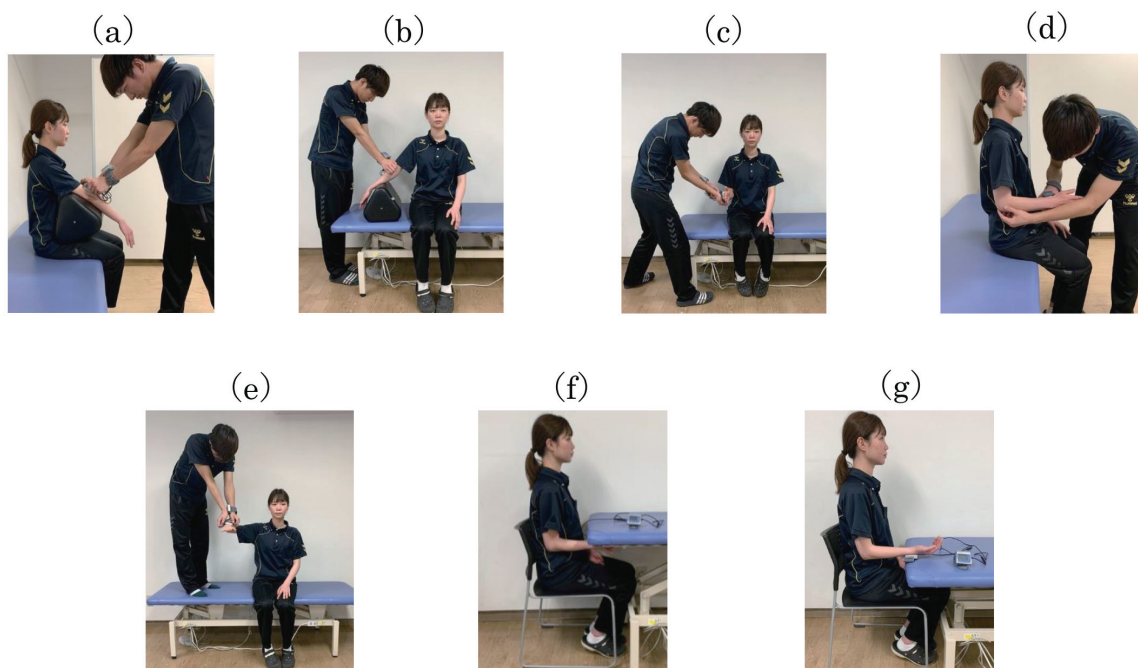


図3 肩・肘関節等尺性筋力測定実施方法

各測定肢位にて5秒間の等尺性収縮を実施。2回測定し最大値を代表値とした。

- (a)：屈曲 端座位，肩関節45°屈曲位，前腕回内位
- (b)：外転 端座位，肩関節45°外転位，前腕回内位
- (c)：1st 肢位外旋 端座位，肩関節内外旋中間位，前腕中間位
- (d)：1st 肢位内旋 端座位，肩関節内外旋中間位，前腕中間位
- (e)：2nd 肢位外旋，端座位，肩外転90°，内外旋中間位，前腕中間位
- (f)：肘関節屈曲，椅座位，肩関節内外旋中間位，肘関節90°屈曲位，前腕回外位
- (g)：肘関節伸展，椅座位，肩関節内外旋中間位，肘関節90°屈曲位，前腕回外位

4. 統計学的解析

肩関節可動域，肩・肘関節等尺性筋力，肩関節機能スコアに関して，分割プロットデザイン分散分析を用いて各測定時期と群間の比較を行った。各群における各測定時期の多重比較には，Shafferの方法で補正した対応のあるt検定を用いて，群間の多重比較にはBonferroni補正した対応のないt検定を用いて検討した。肩・肘関節等尺性筋力に関しては，装具着用下でのADL復帰は健側へも影響を与えと考えられたため，健側，患側を分けて検討を行った。各群の年齢，リハビリテーションの総回数は正規性に依じて，対応のないt検定もしくはMann-Whitney U検定を用い，手術時期に関しては基準日（2020年4月1日）からの日数をMann-Whitney U検定を用いて2群間にて比較した。患側の左右，術前の断裂サイズ，術式，cuff integrity，再断裂率は χ^2 二乗検定を用いて2群間で比較検討を行った。統計解析にはR ver3.5.1 (CRAN)を使用し，統計学的有意水準は5%未満とした。

5. 倫理的配慮

本研究は当院倫理委員会の承認（承認番号：2105）を得た上で，ヘルシンキ宣言に則り実施し得られたデータは個人が特定できないように配慮をした。また，本研究は後ろ向き観察研究であることから，研究に関するオプトアウトを実施し，研究対象者が研究への参加を拒否する機会を保障した。

結 果

1. 人口統計学的データ，入院期間，通院頻度，再断裂率

入院期間は退院群が 22.7 ± 5.8 日，入院群が 55.3 ± 15.2 日で退院群が有意に短かった（ $P < 0.001$ ）。リハビリテーションの総回数は退院群が入院群に比して有意に少なかった（ $P < 0.001$ ）（表1）。術前の断裂サイズ，MRIによる修復腱のcuff integrityにおいても両群間に有意差を認めなかった（表1）。再断裂は退院群1名（2%），入院群1名（2%）で両群間に有意差を認めなかった（表1）。仕事に従事している者は退院群が5名（10%），入院群が5名（11%）で両群間に有意差を認めなかった。

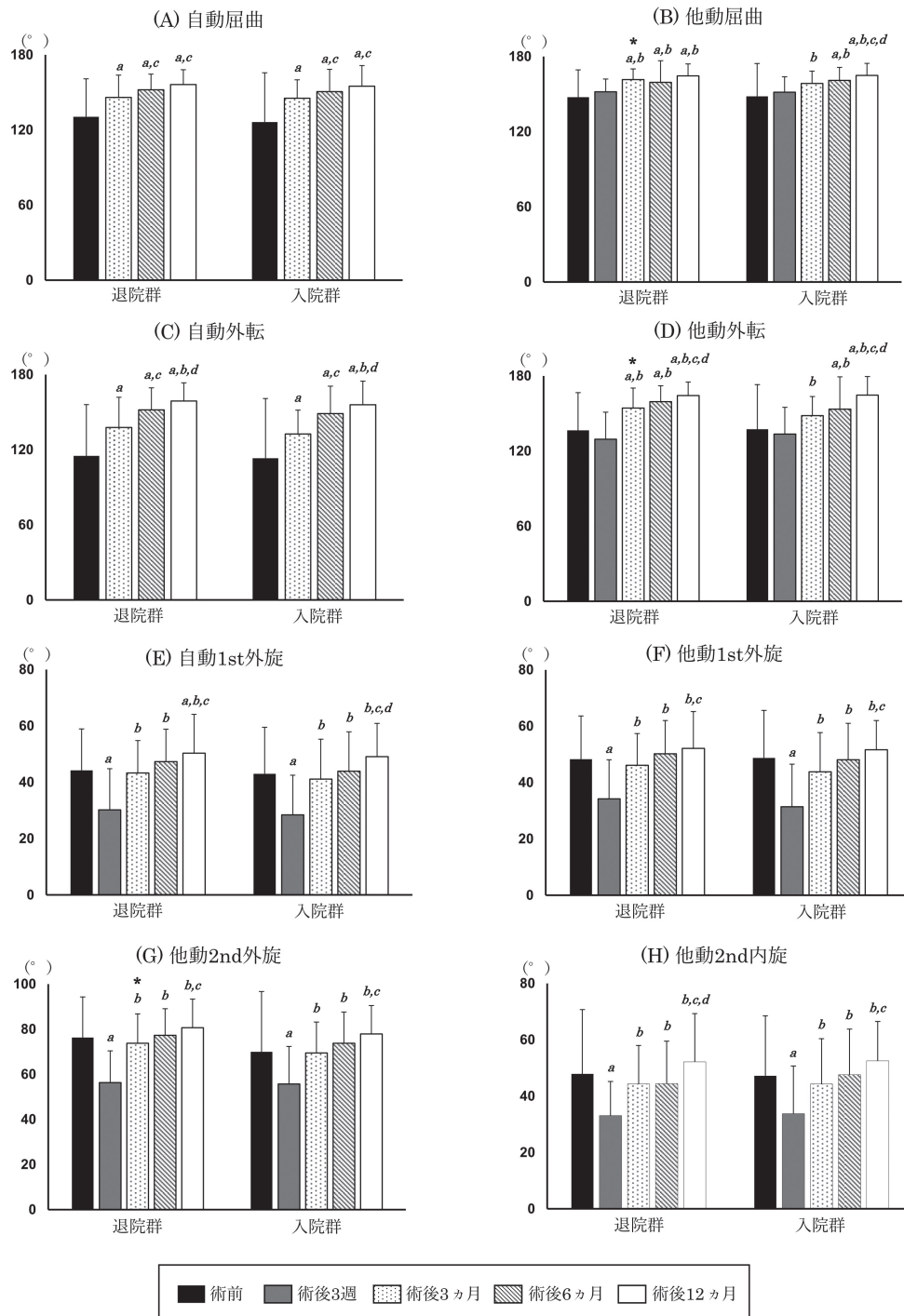


図4 各群の術前・術後肩関節可動域

* : 退院群と入院群の間に有意差あり ($P < 0.05$)a : 術前と有意差あり ($P < 0.05$)b : 術後3週と有意差あり ($P < 0.05$)c : 術後3ヵ月と有意差あり ($P < 0.05$)d : 術後6ヵ月と有意差あり ($P < 0.05$)

2. 肩関節可動域

すべての運動方向において群と時期との交互作用および時期の主効果を認めた ($P < 0.001$)。また、他動屈曲 ($P = 0.034$)、外転 ($P = 0.015$)、2nd 外旋 ($P = 0.045$) で

は群の主効果を認めた。

群間の多重比較では、術後3ヵ月の他動屈曲 (退院群 $161.6 \pm 8.5^\circ$ vs 入院群 $158.5 \pm 9.9^\circ$, $P = 0.034$)、外転 (退院群 $154.4 \pm 15.9^\circ$ vs 入院群 $148.3 \pm 15.2^\circ$, $P = 0.015$)、

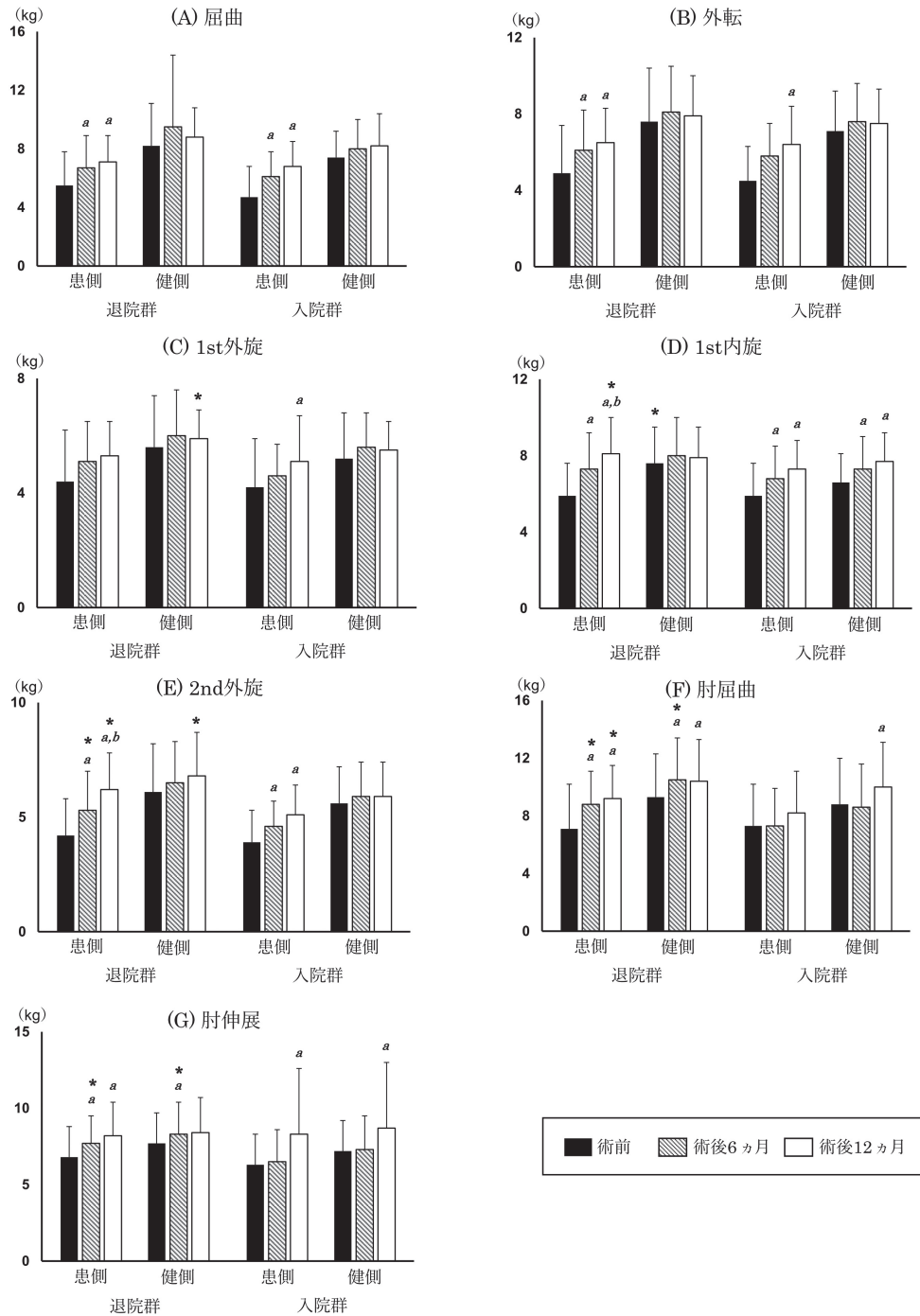


図5 各群の術前・術後肩・肘関節等尺性筋力
 *: 退院群と入院群の間に有意差あり ($P < 0.05$)
 a: 術前と有意差あり ($P < 0.05$)
 b: 術後6ヵ月と有意差あり ($P < 0.05$)

2nd 外旋 (退院群 $73.8 \pm 13.0^\circ$ vs 入院群 $69.5 \pm 13.7^\circ$, $P = 0.045$) において退院群が入院群に比して有意に可動域が大きかった (図 4B, D, G)。その他の評価時期、運動方向においては退院群と入院群との間に有意差はなかった。

各測定時期の多重比較において、退院群では他動屈曲、

外転可動域は術後3ヵ月に術前に比して有意な改善を認めたが ($P < 0.001$)、入院群では術後3ヵ月で有意差は認めず、術後6ヵ月時に術前に比して有意な改善を認めた ($P < 0.001$) (図 4B, D)。

3. 肩・肘関節等尺性筋力

すべての筋力に対して時期の主効果を認め、1st 外旋および内旋、2nd 外旋、肘関節屈曲および伸展筋力において群と時期の交互作用、群の主効果を認めた ($P < 0.001$)。

群間の多重比較では、術後6ヵ月で患側の2nd 外旋筋力において退院群が入院群に比して有意に筋力が高かった (退院群 5.3 ± 1.7 kg vs 入院群 4.6 ± 1.1 kg, $P = 0.018$) (図 5E)。また、健側、患側共に肘関節屈曲 (退院群 vs 入院群、健側; 10.5 ± 2.9 kg vs 8.6 ± 3.0 kg, $P = 0.003$, 患側; 8.8 ± 2.3 kg vs 7.3 ± 2.6 kg, $P = 0.003$) および伸展筋力 (退院群 vs 入院群、健側; 8.3 ± 2.1 kg vs 7.3 ± 2.2 kg, $P = 0.029$, 患側; 7.7 ± 1.8 kg vs 6.5 ± 2.1 kg, $P = 0.005$) において退院群が入院群に比して有意に筋力が高かった。術後12ヵ月では、健側の1st 外旋 (退院群 5.9 ± 1.0 kg vs 入院群 5.5 ± 1.0 kg, $P = 0.043$)、患側の1st 内旋 (退院群 8.1 ± 1.9 kg vs 入院群 7.3 ± 1.5 kg, $P = 0.021$)、肘関節屈曲 (退院群 9.2 ± 2.3 kg vs 入院群 8.2 ± 2.9 kg, $P = 0.031$)、健側および患側の2nd 外旋筋力 (退院群 vs 入院群、健側; 6.8 ± 1.9 kg vs 5.9 ± 1.5 kg, $P = 0.003$, 患側; 6.2 ± 1.6 kg vs 5.1 ± 1.3 kg, $P < 0.001$) において退院群が入院群に比して有意に筋力が高かった (図 5C-G)。その他の肩・肘関節等尺性筋力において2群間に有意差はなかった。

各測定時期の多重比較において、退院群では、患側、健側共に肘関節屈曲 ($P < 0.001$)、肘関節伸展筋力 ($P < 0.001$) において術後6ヵ月に有意な改善を認め (図 5F, G)、2nd 外旋筋力 ($P = 0.003$) では術後12ヵ月でも術後6ヵ月に比して有意な改善を認めた。一方、入院群では、術前と比較して患側の1st 外旋 ($P = 0.003$)、肘関節伸展筋力 ($P = 0.001$) で、健側の肘関節屈曲 ($P = 0.007$) および伸展筋力 ($P = 0.004$) で術後12ヵ月に有意な改善を認めた (図 5C, F, G)。

4. 肩関節機能スコア

DASH 機能スコアにおいて群と時期との交互作用を認め ($P < 0.001$)、さらに Sh36 の疼痛、筋力、日常生活機能領域スコアでは群の主効果も認めた ($P < 0.001$)。またすべての肩関節機能スコアにおいて時期の主効果を認めた ($P < 0.001$)。

群間の多重比較では、術後6ヵ月時に DASH 機能スコア (退院群 10.5 ± 8.5 vs 入院群 18.1 ± 13.8 , $P < 0.001$)、Sh36 の疼痛 (退院群 3.8 ± 0.3 vs 入院群 3.6 ± 0.3 , $P = 0.007$)、筋力 (退院群 3.8 ± 0.3 vs 入院群 3.6 ± 0.4 , $P = 0.006$)、日常生活機能領域 (退院群 3.8 ± 0.3 vs 入院群 3.6 ± 0.3 , $P = 0.049$) において退院群が入院群に比

して有意にスコアが良好であった (図 6D, E, G, H)。また、術後12ヵ月時に、DASH 機能スコア (退院群 6.7 ± 7.6 vs 入院群 12.9 ± 12.3 , $P < 0.001$)、Sh36 の疼痛領域 (退院群 3.9 ± 0.2 vs 入院群 3.7 ± 0.3 , $P = 0.015$) において退院群が入院群に比して有意にスコアが良好であった (図 6D, E)。

各測定時期の多重比較において、両群共にすべての肩関節機能スコアにおいて術後6ヵ月時で術前に比して有意な改善を認め ($P < 0.001$)、JOA ($P = 0.001$)、Constant ($P = 0.001$)、UCLA ($P < 0.001$) スコアにおいて術後12ヵ月時に術後6ヵ月に比して有意に改善を認めた (図 6A-C)。また、退院群では DASH 機能スコアで術後12ヵ月時に術後6ヵ月に比して有意な改善を認めた ($P = 0.011$) (図 6D)。

考 察

本研究は、棘上筋腱を含む大断裂以下の断裂に対して ARCR を施行した 65 歳以上の女性を対象に、装具を装着した状態にて退院した退院群と、装具除去まで入院継続をした入院群において、再断裂率、肩関節可動域、肩・肘関節等尺性筋力、肩関節機能スコアを比較検討し、装具を装着した状態で退院することの影響を調査した最初の研究である。術前、術後変化に関しては両群共に術前に比して術後に関節可動域、等尺性筋力、肩関節機能スコアは有意な改善を認めた。群間比較に関しては、2群間に再断裂率の差を認めず、可動域においても術後3ヵ月他動屈曲、外転、2nd 外旋可動域以外に2群間に差を認めなかった。また、退院群において術後6ヵ月、12ヵ月における肩関節内外旋、肘関節屈伸筋力、主観的肩機能スコアが入院群に比して有意に良好であった。

退院群と入院群の間に再断裂率に有意な差を認めなかった。また、両群とも再断裂は1例 (2%) であり、先行研究で報告されている 9 ~ 26% よりも低い再断裂率であった²⁶⁻²⁹⁾。腱板修復術後の再断裂の危険因子の一つに患者の患肢使用制限に対するコンプライアンスの関連が報告されている²⁰⁾。コンプライアンス向上については、理学療法士の役割も大きいと考えられ、術後リハビリテーションを進める上で重要な要素である。本研究の対象には看護師とも協力して、術後可及的早期から安全な装具着脱、上衣更衣方法と ADL 指導に関してパンフレットを用いて説明、実技指導を行っている。さらにセルフエクササイズは、筋電図学的に安全性が確認できている運動療法³⁰⁾を適切に行えるよう指導し、看護師と実施状況について情報共有するようにしている。両群共に再断裂率が低値で群間に差も認めなかったのは、患者

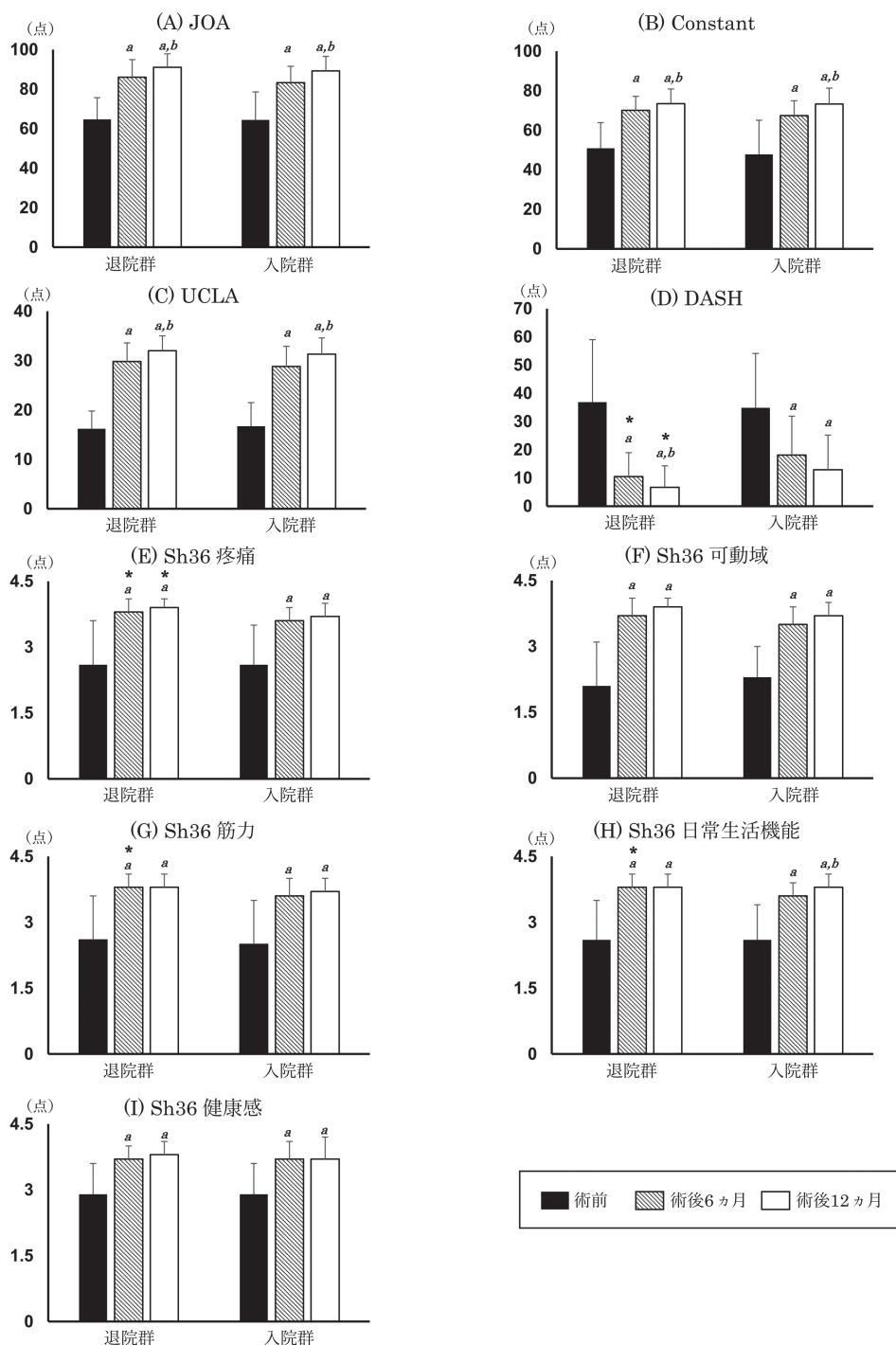


図6 各群の術前、術後肩関節機能スコア
 *：退院群と入院群の間に有意差あり (P < 0.05)
 a：術前と有意差あり (P < 0.05)
 b：術後6ヵ月と有意差あり (P < 0.05)

の安全な ADL、セルフエクササイズの遂行が遵守され、退院後も自宅にて継続できていたことが理由として考えられる。今後、安全な ADL に対する理解度に関する調査や、安全な統一された指導方法の確立が必要であると考える。

ARCR 後患者 1,483 名の術後関節可動域の経過調査で

は、術後6週までに関節可動域は一度低下をし、その後12週までに有意な改善を示している³¹⁾。本研究の両群も同様の傾向を示し、術後3ヵ月時に自動屈曲、外転可動域は術前に比して有意な改善を示し、術後6ヵ月以降は2群間に差を認めなかった。先行研究でも、週3回の管理下のリハビリテーションを行った群と最初の指導の

後は自宅でのセルフエクササイズを行った群において、術後9週、6ヵ月の時点で疼痛、ROM、SANEスコアに2群間の差を認めなかったと報告している³²⁾。本研究の対象は術後可及的早期から安全に正しくセルフエクササイズを行えるよう理学療法士から指導を受けており、装具除去前に退院し自宅でのリハビリテーションを中心に実施しても肩関節可動域制限を来たことなく、入院継続していた群と同等に関節可動域を改善できた可能性が考えられた。

肩、肘関節筋力に関して、術後6ヵ月、12ヵ月において退院群が肩関節外旋、内旋、肘関節屈曲、伸展筋力で入院群よりも有意に高かった。特に術後6ヵ月の肘関節屈曲、伸展筋力、術後12ヵ月の2nd外旋筋力では健側においても筋力が高かった。装具着用中はADLにおける患側上肢の使用が原則禁止されており、自宅ADLへ復帰することは健側へも影響を与えたと考えたため、本研究では患側、健側を分けて比較検討を行った。術前においては健側の1st内旋筋力以外に患側、健側共に有意な群間差は見られず、入院群においても術後6ヵ月以降術前に比して筋力が改善しているため、退院群においてより筋力改善が大きかったと考えられる。退院群では患側使用の困難さを測るSh36の筋力領域においても術後6ヵ月で入院群よりも良好な値を示しており、退院群は装具着用下でもより早期に退院することで、主観的にADLでの患側使用の困難さがより少ないと感ずることができていたと考えられる。両側共に差を認めた肘関節筋力や2nd外旋筋力は、ADL場面における頭上での作業や、荷物を持つ、扉の開け閉めなどに重要な筋力であると考えられ³³⁾、ADL場面における上肢の使用がこれらの筋力を改善させ、またそれによりADLにおける主観的な上肢機能が改善するという相互的な影響があった可能性が考えられた。今後、装具除去後の患側上肢使用の頻度や不安感などの調査を行っていき、ADLに早期復帰することの筋力への影響をさらに明らかにしていく必要がある。

本研究では主観的肩機能スコアであるDASH、Sh36の疼痛、筋力、日常生活活動領域スコアにおいても術後6ヵ月、12ヵ月において2群間に差を認めた。一方で、客観的肩機能スコアであるJOA、Constant、UCLAスコアにおいては2群間に差を認めなかった。両群共にすべてのスコアにおいて術後に有意に改善を示していることから、退院群の方が主観的肩機能の改善がより良好であったと考えられる。先行研究において、術後9ヵ月から術後12ヵ月においてJOAは改善を示さなかった一方、DASH、Sh36では改善傾向を認めたと報告されており³⁴⁾、本研究結果も合わせると客観的肩機能スコアよりも、主観的肩機能スコアの方がARCR後の機能回復を鋭敏に反

映することを示唆しており、新しい知見であると考えられる。

本研究における限界として、患者選定時の対象が65歳以上の女性に限定されていたことが挙げられる。今後は男性やより年齢の低い、いわゆる生産年齢世代、スポーツ活動を行っている症例における検討も必要である。また、本研究では広範囲断裂症例は除外しているが、術後の再断裂は広範囲断裂などのより断裂の大きい症例において高いと報告されている³⁵⁾ため、広範囲断裂修復症例における検討も必要であると考えられる。また、実際の危険動作発生頻度や術後後療法へのコンプライアンス、実際の患側使用頻度に関しては調査できていないため、今後の検討が必要である。さらに本研究は後方視的観察研究であり、自宅退院をするかどうかは患者の希望に沿っているため、両群間に趣味活動や住宅環境などによる自宅ADLでの活動量の差や家庭内役割などの差が生じている可能性が考えられる。

結 論

棘上筋腱を含む大断裂以下の断裂修復術後に再断裂の危険性、適切なADLとセルフエクササイズ実施方法に関して指導し、理解を得た上で装具着用下にて自宅退院しADL復帰することで、入院を継続した群と再断裂率に差がなく安全であった。また、肩関節可動域においても両群間に差はなく、装着下にて退院した群では、より良好な肩・肘関節筋力、主観的肩機能を獲得することができると考えられた。

利 益 相 反

本研究において開示すべき利益相反はない。

謝 辞

本研究の実施においてご協力いただいた患者様、スタッフに深謝いたします。

文 献

- 1) Keener JD, Steger-May K, Stobbs G, et al.: Asymptomatic rotator cuff tears: patient demographics and baseline shoulder function. *J Shoulder Elbow Surg* 2010; 19: 1191-1198.
- 2) Itoi E: Rotator cuff tear: physical examination and conservative treatment. *J Orthop Sci* 2013; 18: 197-204.
- 3) Minagawa H, Yamamoto N, Abe H, et al.: Prevalence of symptomatic and asymptomatic rotator cuff tears in the general population: From mass-screening in one village. *J Orthop* 2013; 10:

- 8-12.
- 4) Yamamoto A, Takagishi K, Kobayashi T, et al.: Factors involved in the presence of symptoms associated with rotator cuff tears: a comparison of asymptomatic and symptomatic rotator cuff tears in the general population. *J Shoulder Elbow Surg* 2011; 20: 1133-1137.
- 5) Keener JD, Galatz LM, Teefey S, et al.: A prospective evaluation of survivorship of asymptomatic degenerative rotator cuff tears. *J Bone Joint Surg Am* 2015; 97: 89-98.
- 6) Iyengar JJ, Samagh SP, Schairer W, et al.: Current trends in rotator cuff repair: surgical technique, setting, and cost. *Arthroscopy* 2014; 30: 284-288.
- 7) Brindisino F, Salomon M, Giagio S, et al.: Rotator cuff repair vs. nonoperative treatment: a systematic review with meta-analysis. *J Shoulder Elbow Surg* 2021; S1058-2746(21)00431-6.
- 8) Danilkowicz R, Levin JM, Crook B, et al.: Analysis of Risk Factors, Complications, Reoperations, and Demographics Associated With Open and Arthroscopic Rotator Cuff Repair: An Analysis of a Large National Database. *Arthroscopy* 2021; S0749-8063(21)00809-4.
- 9) MacDermid JC, Bryant D, Holtby R, et al.: Arthroscopic Versus Mini-open Rotator Cuff Repair: A Randomized Trial and Meta-analysis. *Am J Sports Med* 2021; 49: 3184-3195.
- 10) Thigpen CA, Shaffer MA, Gaunt B, et al.: The American Society of Shoulder and Elbow Therapists' consensus statement on rehabilitation following arthroscopic rotator cuff repair. *J Shoulder Elbow Surg* 2016; 25: 521-535.
- 11) Galetta MD, Keller RE, Sabbag OD, et al.: Rehabilitation variability after rotator cuff repair. *J Shoulder Elbow Surg* 2021; 30: e322-e333.
- 12) 平野真子, 野村一俊, 廣瀬 隼: 腱板修復術のクリティカルパスにおけるバリエーションの検討. *肩関節* 2003; 27: 255-258.
- 13) 村木孝行, 中島知隆, 青木光広: リハビリテーション 腱板断裂用クリティカルパスの導入効果と妥当性について: 在院日数と関節可動域の検討. *整形外科* 2004; 55: 1369-1373.
- 14) 瀬尾充弘, 松浦健司, 兵頭 惇, 他: 腱板修復術後における外転装具状態での早期退院による影響. *保健医療学雑誌* 2018; 9: 31-38.
- 15) Diebold G, Lam P, Walton J, et al.: Relationship Between Age and Rotator Cuff Retear: A Study of 1,600 Consecutive Rotator Cuff Repairs. *J Bone Joint Surg Am* 2017; 99: 1198-1205.
- 16) Le BTN, Wu XL, Lam PH, et al.: Factors predicting rotator cuff retears: an analysis of 1000 consecutive rotator cuff repairs. *Am J Sports Med* 2014; 42: 1134-1142.
- 17) Sheean AJ, Sa D de, Woolnough T, et al.: Does an Increased Critical Shoulder Angle Affect Re-tear Rates and Clinical Outcomes Following Primary Rotator Cuff Repair? A Systematic Review. *Arthroscopy* 2019; 35: 2938-2947.
- 18) Harada N, Gotoh M, Ishitani E, et al.: Combination of risk factors affecting re-tear after arthroscopic rotator cuff repair: a decision tree analysis. *J Shoulder Elbow Surg* 2021; 30: 9-15.
- 19) Cho NS, Moon SC, Jeon JW, et al.: The influence of diabetes mellitus on clinical and structural outcomes after arthroscopic rotator cuff repair. *Am J Sports Med* 2015; 43: 991-997.
- 20) 堀田知伸, 木村重治: 腱板の再断裂はコンプライアンスの低い患者におこるのか? *肩関節* 2019; 43: 740-742.
- 21) Trenerry K, Walton JR, Murrell G, et al.: Prevention of shoulder stiffness after rotator cuff repair. *Clin Orthop Relat Res* 2005; (430): 94-99.
- 22) Cofield RH: Subscapular muscle transposition for repair of chronic rotator cuff tears. *Surg Gynecol Obstet* 1982; 154: 667-672.
- 23) Sugaya H, Maeda K, Matsuki K, et al.: Functional and structural outcome after arthroscopic full-thickness rotator cuff repair: single-row versus dual-row fixation. *Arthroscopy* 2005; 21: 1307-1316.
- 24) 千住英明: 理学療法テキスト 理学療法評価法 (第3版). pp. 59-64; 中島喜代彦・編集: 2011, SHINRYOBUNKO, 兵庫.
- 25) 村井 健, 綿谷美佐子, 松本 尚, 他: 座位におけるハンドヘルドダイナモメーターを用いた肩筋力測定方法とその再現性. *北海道理学療法* 2008; 25: 37-41.
- 26) Taniguchi N, Suenaga N, Oizumi N, et al.: Bone marrow stimulation at the footprint of arthroscopic surface-holding repair advances cuff repair integrity. *J shoulder Elbow Surg* 2015; 24: 860-866.
- 27) Kim HM, Caldwell J-ME, Buza JA, et al.: Factors affecting satisfaction and shoulder function in patients with a recurrent rotator cuff tear. *J Bone Joint Surg Am* 2014; 96: 106-112.
- 28) Hug K, Gerhardt C, Haneveld H, et al.: Arthroscopic knotless-anchor rotator cuff repair: a clinical and radiological evaluation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2015; 23: 2628-2634.
- 29) 大石隆幸: Critical Shoulder Angle と ARCR 術後の再断裂率および臨床成績との関係. *肩関節* 2020; 44: 346-349.
- 30) 大泉尚美, 末永直樹, 吉岡千佳, 他: 腱板断裂術後早期の運動は修復腱に安全か? 一腱板筋の筋電位測定による検討. *肩関節* 2013; 37: 725-729.
- 31) McNamara WJ, Lam PH, Murrell GA, et al.: The Relationship Between Shoulder Stiffness and Rotator Cuff Healing: A Study of 1,533 Consecutive Arthroscopic Rotator Cuff Repairs. *J Bone Joint Surg Am* 2016; 98: 1879-1889.
- 32) Song SJ, Jeong TH, Moon JW, et al.: Short-term Comparison of Supervised Rehabilitation and Home-based Rehabilitation for Earlier Recovery of Shoulder Motion, Pain, and Function after Rotator Cuff Repair. *Clin Shoulder Elb* 2018; 21: 15-21.
- 33) Escamilla RF, Yamashiro K, Paulos L, et al.: Shoulder muscle activity and function in common shoulder rehabilitation exercises. *Sports Med* 2009; 39: 663-685.
- 34) 大野晋太郎, 尼子雅敏, 有野浩司, 他: 患者立脚肩関節評価法 Shoulder36 (Ver.1.3) と DASH による腱板断裂手術の術前・術後評価の検討. *肩関節* 2015; 39: 745-748.
- 35) Galatz LM, Ball CM, Teefey SA, et al.: The outcome and repair integrity of completely arthroscopically repaired large and massive rotator cuff tears. *J Bone Joint Surg Am* 2004; 86: 219-224.

The Effects of Hospital Discharge with a Brace for the Retear Rate and Bilateral Shoulder Functions after Arthroscopic Rotator Cuff Repair

Yu Ito¹⁾, Hisashi Matsumoto¹⁾, Shota Yamaguchi¹⁾, Tomoya Ishida²⁾,
Naoki Suenaga³⁾, Naomi Oizumi³⁾

¹⁾ Department of Rehabilitation, Orthopaedic Hokushin Hospital

²⁾ Faculty of Health Sciences, Hokkaido University

³⁾ Upper Extremity Center of Joint Replacement & Endoscopy, Orthopaedic Hokushin Hospital

Objective: The purpose of this study is to investigate the effects of hospital discharge with a brace on the re-tear rate and bilateral shoulder functions after arthroscopic rotator cuff repair (ARCR).

Methods: In total, 91 women 65 years or older who underwent ARCR were included in the study. Patients were divided into two groups: one group (48 patients) was discharged with a brace following ARCR, and another group (43 patients) was continuously admitted after ARCR until brace removal. We compared the pre- and postoperative range of motion, isometric strength of bilateral shoulder and elbow joint muscles, functional score, and re-tear rate between two groups.

Results: There were no significant differences of the re-tear rate and range of motion between the groups, except for passive flexion, abduction, 2nd external rotation at 3 months postoperation. The group that was discharged with a brace had better isometric strengths and functional scores at 6 and 12 months postoperation than the continuing admission group.

Conclusion: This study showed that ARCR patients discharged from hospital with a brace after receiving instructions of how to safely perform activity of daily living and self-exercise achieved better shoulder function than continuing admission without increasing the risk of re-tear and limitation of range of motion.

Key words: Arthroscopic rotator cuff repair, Shoulder function, Discharge with a brace

研究論文 (原著)

鏡視下腱板修復術後患者の術後6ヵ月時の臨床成績に影響を及ぼす因子とカットオフ値の検討*

瀬尾 充弘^{1) #} 兵頭 惇¹⁾ 土田 直樹¹⁾
中井 秀和²⁾ 勝田 紘史³⁾

【目的】鏡視下腱板修復術後患者における臨床成績の予後予測因子とカットオフ値を検討することを目的とした。【方法】評価項目は年齢、性別、職業、肩甲下筋修復の有無、上腕二頭筋長頭腱処置の有無、術中マニピレーションの有無、術前と術後3ヵ月 ROM、術前と術後3ヵ月の運動時痛とした。術後6ヵ月の肩 UCLA スコアにて、経過良好・不良群に分類し各評価項目を比較した。2群間比較で有意差があった項目を独立変数、肩 UCLA スコアを従属変数とした二項ロジスティック回帰分析を行い、選択された項目のカットオフ値を求めた。【結果】上腕二頭筋長頭腱処置の有無、術前と術後 ROM、術後3ヵ月時の運動時痛で差が認められた。二項ロジスティック回帰分析の結果、術後3ヵ月時の屈曲 ROM が選択され、カットオフ値は112.5°であった。【結論】術後6ヵ月で良好な臨床成績を獲得するためには、術後早期の肩関節 ROM が重要であり、カットオフ値は術後リハビリの指標となることが示唆された。

キーワード Arthroscopic rotator cuff repair, The University of California at Los Angeles shoulder score, 予後予測因子, カットオフ値

はじめに

鏡視下腱板修復術 (Arthroscopic rotator cuff repair: 以下, ARCR) は確立された手術方法として、疼痛の軽減や関節可動域 (Range of motion: 以下, ROM), 筋力, 機能, 臨床成績が改善することが報告されており¹⁾²⁾, 腱板断裂を呈する患者にとって有効な治療手段であるといえる。本邦の手術件数も2013年の7,150件から2017年の8,473件と増加傾向にあると報告されている³⁾⁴⁾。

ARCRの目的は日常生活における疼痛を軽減し、肩関節機能を高めることで、生活の質を高めていくとされているが、ARCR後のリハビリテーション (以下, リハビリ) を実施するにあたって、肩関節 ROM といった機能回復や疼痛の残存に難渋し、期待された臨床成績に至らない症例も経験することがある。

近年、整形外科疾患において術後の臨床成績や機能回復に関する予後予測因子の検討を行った研究が多く報告されており、ARCR後に関してもいくつかの研究報告がされている。それらによると、年齢、性別、断裂サイズの大きさ、労働強度、修復時のアンカー数、合併症有無といった患者背景が臨床成績に関連すると報告されている⁵⁻⁷⁾。また、肩関節 ROM に着目すると、術前や術後3ヵ月時の肩関節 ROM と臨床成績との関連性が報告されているが⁸⁻¹⁰⁾, 術後早期の予後予測因子に関しては研究報告が少ないことも指摘されている⁹⁾。

このような研究報告の多くは術後1年から2年の最終フォローアップ時の臨床成績に関する予後予測因子を検討したものである。しかし、実際に ARCR 後のリハビリを実施する期間はこれより短いことが一般的であり¹¹⁾, 疾患別リハビリテーションにおける治療期間の目安でも

* Examination of Factors and Cut-off Values that Affect Clinical Results 6 Months after Surgery for Patients after Arthroscopic Rotator Cuff Repair

1) 運動器ケア しまだ病院リハビリテーション部
(〒580-0875 大阪府羽曳野市榎山100-1)

Mitsuhiro Seo, PT, MS, Atsushi Hyodo, PT, Naoki Tsuchida, PT:
Department of Rehabilitation, Shimada Hospital

2) 警和会 第二大阪警察病院整形外科
Hidekazu Nakai, MD: Department of Orthopaedic Surgery, Daini
Osaka Police Hospital

3) 運動器ケア しまだ病院整形外科
Hiroshi Katsuta, MD: Department of Orthopaedic Surgery,
Shimada Hospital

E-mail: shimadariha@heartful-health.or.jp

(受付日 2022年3月24日/受理日 2022年6月29日)

	術後4週	術後6週	術後3ヵ月	術後4ヵ月	術後6ヵ月
手指、手関節自動運動					
肘関節他動運動					
肘関節自動運動					
肩関節他動/自動介助運動					
肩関節自動運動					
装具固定					
抵抗運動					
仕事復帰（重労働）					
スポーツ復帰					

図1 当院の ARCR 後プロトコル（小・中断裂患者）

運動器疾患は150日までと定められている。また、ARCR後の臨床成績の時間的変化をみると、術後6ヵ月で最終的な成績の75%まで回復することが報告されており⁶⁾、術後6ヵ月から1年において臨床的に有意な改善が認められなかったとの報告もあることから²⁾、ARCR後のリハビリを実施していく上では、先行研究で報告されているものより短期的な臨床成績に対する予後予測因子の検討を行う必要があると考えられる。さらに、その予後予測因子に関する定量的な指標を求めることは重要であり、定量的な指標が明らかになることで、術後経過の目標設定や積極的なリハビリの必要性を考慮する際に有用となると考えられる。しかし、ARCR後の予後予測因子における定量的な指標について検討した報告は散見される程度であり⁹⁾、その数は少ない。

そこで本研究では、術後6ヵ月時の臨床成績に着目し、患者背景、術前および術後早期の肩関節ROMと疼痛評価から予後予測因子の検討を行い、その因子における定量的な指標を明らかにすることを目的とした。

対象と方法

1. 研究デザイン

本研究のデザインは後ろ向き研究とした。

2. 対象

2016年4月から2019年12月に当院でARCRを施行した患者のうち、棘上筋・棘下筋間の断裂サイズが20mm未満の小中断裂患者で¹²⁾、ARCR後のリハビリを6ヵ月以上実施した症例とした。除外基準は術後に他院でのリハビリを希望し転院した症例、術後6ヵ月以内に自己都合により来院されずドロップアウトした症例、術前および術後のアウトカムデータの欠損があった症例とした。また、再断裂を呈した症例では術後アウトカムも不良となるとの報告から、再断裂を呈した症例も除外した¹³⁾¹⁴⁾。再断裂の基準はSugaya分類のタイプIV・Vと定義した¹⁵⁾。なお、本研究はヘルシンキ宣言に基づき、

対象者に書面にて同意を得た上で進めた。また、しまだ病院倫理委員会の承認（2021-025）を受けるとともに、個人情報の取り扱いには十分に留意して行った。

3. 術後プロトコル

当院では術後6週間の装具（Donjoy社製、ウルトラスリングII、米国）による固定（肩甲骨面上、外転30°）を行っているが、手指・手関節の自動運動や肘関節の他動運動は術後翌日から、肩関節に対する他動運動と自動介助運動は術後4週から開始している。自動運動は装具除去した直後から始めている。また、ゴムチューブやダンベルなどを使用した抵抗運動訓練は術後3ヵ月から開始し、重労働の復帰の目安は術後4ヵ月以降、スポーツ復帰の目安は術後6ヵ月以降としている（図1）。

4. 評価項目

術後6ヵ月時の臨床成績の評価にはThe University of California at Los Angeles shoulder score（以下、肩UCLAスコア）を用いた。肩UCLAスコアは疼痛「10点」、機能「10点」、ROM「5点」、筋力「5点」、患者満足度「5点」の合計35点で構成されており、34点以上がExcellent、28点から33点がGood、21点から27点がFair、20点以下がPoorに分類されている¹⁶⁾。今回、先行研究から28点以上の症例を経過良好群、27点以下の症例を経過不良群として2群に分類した¹⁷⁾。

患者背景に関する項目として、年齢、性別、肩甲下筋（subscapularis：以下、SSC）修復の有無、上腕二頭筋長頭腱（long head of biceps brachii：以下、LHB）処置の有無、術中マニピュレーションの有無、断裂サイズ、職業（重労働、軽中作業、主婦、無職）をカルテより調査した。また、肩関節ROM評価は術前と術後3ヵ月時の屈曲、外転、外旋、内旋ROMを自動運動で評価した。屈曲、外転、外旋ROMに関しては日本整形外科学会・日本リハビリテーション医学会が定めた方法に準じて計測を行い、内旋ROMは先行研究に準じて、第5腰椎以下を「0点」、第5腰椎を「1点」、第5胸椎を「13点」として計

算を行った¹⁸⁾。計測はいずれの肢位も座位とした。さらに、疼痛評価として Numerical rating scale (以下、NRS) を用い、術前と術後 3 ヶ月時の運動時 NRS を評価した。

5. 統計解析

1) 肩 UCLA スコアにおける予後予測因子の検討

各評価項目について、Shapiro-Wilk 検定にて正規性を確認 (年齢, 断裂サイズ, 術後 3 ヶ月時の外転 ROM: $p > 0.05$, 術前屈曲, 外転, 外旋, 内旋 ROM, 術後 3 ヶ月時の屈曲, 外旋, 内旋 ROM, 術前と術後 3 ヶ月時の運動時 NRS: $p < 0.05$) したのち、年齢, 断裂サイズ, 術後 3 ヶ月時の外転 ROM は対応のない t 検定を、術前屈曲, 外転, 外旋, 内旋 ROM, 術後 3 ヶ月時の屈曲, 外旋, 内旋 ROM, 術前と術後 3 ヶ月時の運動時 NRS は Mann-Whitney の U 検定を、性別, SSC 修復の有無, LHB 処置の有無, 術中マニピュレーションの有無, 職業はクロス集計後の χ^2 検定を用いて 2 群間で比較した。次に、肩 UCLA スコアに関連する因子を明らかにするために、経過良好群と経過不良群を従属変数, 2 群間比較にて有意差の認められた項目に年齢, 性別を加えたものを独立変数とした二項ロジスティック回帰分析を行い、オッズ比と 95% 信頼区間で検討した。なお、二項ロジスティック回帰分析を行うにあたり、多重共線性を考慮し、独立変数間で相関分析を行い、相関係数の絶対値 r が 0.8 以上となった場合は従属変数と相関の高い独立変数を選択した。

2) 予後予測因子におけるカットオフ値の検討

二項ロジスティック回帰分析にて有意な変数として選択された項目において、定量的な指標となるカットオフ値を求めるために受信者動作特性曲線 (Receiver operating characteristic curve: 以下、ROC 曲線) を用いた分析を行い、カットオフ値, 感度, 特異度, 曲線下面積 (Area under the curve: 以下、AUC) を算出した。統計処理には統計ソフト SPSS version 28.0 for Windows (IBM 社製) を使用し、有意水準は 5% とした。

結 果

調査の結果、小・中断裂患者 180 例の内、術後に転院した 5 例、術後 6 ヶ月以内にドロップアウトした 5 例、アウトカムデータが欠損していた 45 例、術後に再断裂を呈した 13 例を除いた 112 例 (年齢 61.8 ± 10.2 歳, 男性 66 例, 女性 46 例) が解析対象となった。

1. 対象者の属性および経過良好群, 経過不良群の比較

対象者の属性と経過良好群, 経過不良群の比較の結果

について表 1 に示す。対象 112 例のうち、経過良好群は 51 例, 経過不良群は 61 例であった。肩 UCLA スコアは経過良好群 30.8 ± 2.5 点, 経過不良群 20.9 ± 4.2 点であった。経過良好群は経過不良群と比較して LHB 処置が少なく (経過良好群 / 経過不良群: 29 名 (56.9%) / 46 名 (75.4%)), 術前屈曲 ROM ($145.0^\circ / 120.0^\circ$), 外転 ROM ($150.0^\circ / 105.0^\circ$), 術後 3 ヶ月時の屈曲 ROM ($130.0^\circ / 105.0^\circ$), 外転 ROM ($117.3 \pm 25.2^\circ / 96.0 \pm 27.5^\circ$), 内旋 ROM (2.0 点 / 1.0 点) が高値であり, 術後 3 ヶ月時の運動時 NRS (2.0 / 3.0) が低値であった。

2. 相関行列

2 群間比較で有意差の認められた評価項目に対して、Spearman の順位相関係数を用いて解析した結果、術前屈曲と外転 ROM の間 ($r = 0.803$), 術後 3 ヶ月時の屈曲と外転 ROM の間 ($r = 0.887$) に 0.8 以上となる相関係数が認められた。そのため、従属変数との相関が低い術前屈曲 ROM と術後 3 ヶ月時の外転 ROM を除外した (表 2)。

3. 二項ロジスティック回帰分析

二項ロジスティック回帰分析は従属変数を経過良好群, 不良群とし、独立変数を 2 群間比較において有意差が認められた LHB 処置の有無, 術前外転 ROM, 術後 3 ヶ月時の屈曲, 内旋 ROM, 術後 3 ヶ月時の運動時 NRS とし、交絡因子である年齢, 性別を加えた。その結果、年齢 (オッズ比: 1.028, 95% 信頼区間: 0.977–1.082, $p = 0.286$), 性別 (オッズ比: 1.887, 95% 信頼区間: 0.731–4.869, $p = 0.189$), LHB 処置の有無 (オッズ比: 2.701, 95% 信頼区間: 0.942–7.742, $p = 0.064$), 術前外転 ROM (オッズ比: 1.008, 95% 信頼区間: 0.996–1.020, $p = 0.178$), 術後 3 ヶ月時の屈曲 ROM (オッズ比: 1.052, 95% 信頼区間: 1.024–1.080, $p < 0.001$), 内旋 ROM (オッズ比: 1.062, 95% 信頼区間: 0.837–1.348, $p = 0.621$), 術後 3 ヶ月時の運動時 NRS (オッズ比: 0.772, 95% 信頼区間: 0.580–1.027, $p = 0.075$) であり, 術後 3 ヶ月時の屈曲 ROM のみ有意な変数として選択された (表 3)。

4. ROC 曲線

二項ロジスティック回帰分析で有意な変数として選択された術後 3 ヶ月時の屈曲 ROM のカットオフ値を求めるために ROC 曲線による分析を行った (図 2)。その結果、カットオフ値は 112.5° , 感度 72.5%, 特異度 63.9%, AUC は 0.766 であった (表 4)。

表1 対象者の属性および経過良好群と経過不良群の比較

評価項目	全体 (n = 112)	経過良好群 (n = 51)	経過不良群 (n = 61)	p 値
術後 6 ヶ月時の肩 UCLA スコア	25.4 ± 6.0	30.8 ± 2.5	20.9 ± 4.2	
患者背景				
年齢 (歳)	61.8 ± 10.2	61.3 ± 10.1	62.3 ± 10.3	0.62 ¹⁾
性別 男性 / 女性 (名)	66 / 46	28 / 23	38 / 23	0.43 ²⁾
SSC 修復 有 / 無 (名)	67 / 45	30 / 21	37 / 24	0.84 ²⁾
LHB 処置 有 / 無 (名)	75 / 37	29 / 22	46 / 15	0.04 ²⁾
術中マニピレーション 有 / 無 (名)	44 / 68	16 / 35	28 / 33	0.12 ²⁾
断裂サイズ (mm)	14.8 ± 5.3	14.3 ± 4.3	15.3 ± 5.8	0.34 ¹⁾
職業 (名)				
重労働	33	17	16	
軽作業	43	22	21	
主婦	14	4	10	0.34 ²⁾
無職	22	8	14	
機能的評価				
術前 ROM				
屈曲 (度)	130.0 [110.0~150.0]	145.0 [115.0~160.0]	120.0 [97.5~145.0]	< 0.01 ³⁾
外転 (度)	127.0 [80.0~160.0]	150.0 [105.0~165.0]	105.0 [70.0~145.0]	< 0.01 ³⁾
外旋 (度)	50.0 [40.0~65.0]	55.0 [40.0~65.0]	50.0 [32.5~62.5]	0.18 ³⁾
内旋 (点)	5.0 [2.0~8.0]	5.0 [2.0~8.0]	5.0 [2.0~7.5]	0.94 ³⁾
術後 3 ヶ月時 ROM				
屈曲 (度)	115.0 [100.0~133.8]	130.0 [110.0~145.0]	105.0 [90.0~125.0]	< 0.01 ³⁾
外転 (度)	105.7 ± 28.4	117.3 ± 25.2	96.0 ± 27.5	< 0.01 ¹⁾
外旋 (度)	30.0 [20.0~40.0]	30.0 [20.0~45.0]	30.0 [12.5~40.0]	0.23 ³⁾
内旋 (点)	1.0 [0.0~3.0]	2.0 [0.0~4.0]	1.0 [0.0~2.5]	0.01 ³⁾
疼痛評価				
術前運動時 NRS	5.0 [3.0~7.0]	5.0 [3.0~7.0]	5.0 [3.0~7.0]	0.59 ³⁾
術後 3 ヶ月運動時 NRS	2.3 [2.0~3.0]	2.0 [1.0~3.0]	3.0 [2.0~4.0]	0.03 ³⁾

平均値 ± 標準偏差, 中央値 [四分位範囲], SSC 修復 : 肩甲下筋修復, LHB 処置 : 上腕二頭筋長頭腱処置

ROM : Range of motion, NRS : Numerical rating scale

¹⁾ 対応のない t 検定, ²⁾ クロス集計後の χ^2 検定, ³⁾ Mann-Whitney - U 検定

表2 2 群間比較にて有意差が認められた項目の相関係数

	LHB 処置	術前 屈曲 ROM	術前 外転 ROM	術後 3 ヶ月時 屈曲 ROM	術後 3 ヶ月時 外転 ROM	術後 3 ヶ月時 内旋 ROM
LHB 処置						
術前 屈曲 ROM	0.049					
術前 外転 ROM	0.083	0.803 **				
術後 3 ヶ月時 屈曲 ROM	0.098	0.383 **	0.452 **			
術後 3 ヶ月時 外転 ROM	0.142	0.400 **	0.465 **	0.887 **		
術後 3 ヶ月時 内旋 ROM	0.166	0.268 **	0.322 **	0.480 **	0.534 **	
術後 3 ヶ月 運動時 NRS	-0.182	-0.098	-0.143	-0.043	-0.087	-0.091

Spearman 順位相関係数

** : p < 0.01

表3 肩 UCLA スコアにおける二項ロジスティック回帰分析

	回帰係数	有意確率	オッズ比	信頼区間
年齢	0.028	0.286	1.028	0.977-1.082
性別	0.635	0.189	1.887	0.731-4.869
LHB 処置	0.994	0.064	2.701	0.942-7.742
術前 外転 ROM	0.008	0.178	1.008	0.996-1.020
術後3ヵ月時 屈曲 ROM	0.050	< 0.001	1.052	1.024-1.080
内旋 ROM	0.060	0.621	1.062	0.837-1.348
術後3ヵ月運動時 NRS	-0.259	0.075	0.772	0.580-1.027

年齢、性別に加え、2群間比較で有意差が認められた項目を独立変数として投入。

モデル χ^2 乗検定: $p < 0.01$, Hosmer と Lemeshow の検定: $p = 0.09$, 正判別率: 70.3%

表4 術後3ヵ月時屈曲 ROM のカットオフ値、感度、特異度、AUC の結果

	カットオフ値	感度 (%)	特異度 (%)	AUC	漸近有意確率	95% 信頼区間
術後3ヵ月時屈曲 ROM	112.5°	72.5%	63.9%	0.766	0.000	0.681-0.851

AUC: Area under the curve

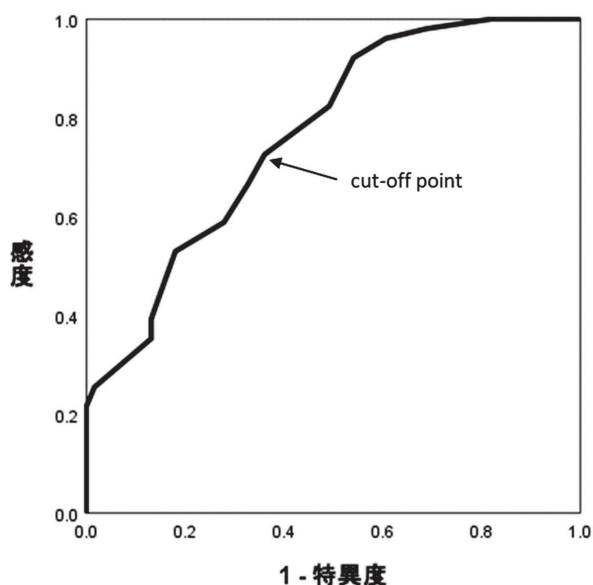


図2 ROC 曲線

考 察

本研究は ARCR 後の小・中断裂患者において、患者背景、術前および術後早期の肩関節 ROM と疼痛評価から術後6ヵ月時の臨床成績に対する予後予測因子の検討を行い、その因子における定量的な指標を明らかにすることを目的とした。その結果、術後3ヵ月時の屈曲 ROM が予測因子として抽出され、カットオフ値として 112.5° という値が示された。本研究の結果から術後6ヵ月で良好な臨床成績を得るためには、術後3ヵ月時の肩関節屈

曲 ROM の回復が重要であることが示唆された。

今回、術後経過の良好、不良の基準に使用した肩 UCLA スコアは腱板修復術の成績評価として国際的に使用されており、ARCR 患者において他の肩関節機能評価ツールと比較して治療成績の予後予測に優れていることが報告されている¹⁹⁾。Cho ら⁶⁾ は一次修復した腱板断裂患者の術後6ヵ月時点の肩 UCLA スコアが 26.5 点であったと報告している。本研究における術後6ヵ月時の対象者全体の肩 UCLA スコア点数は平均 25.4 点(経過良好群: 30.8 ± 2.5 点で Good に該当, 経過不良群: 20.9 ± 4.2 点で Fair に該当)であり、先行研究と同程度の臨床成績であったことから、対象者の術後経過に関して妥当であったと考えられる。

2群間比較において、経過不良群で LHB の処置症例が多く、術前または術後3ヵ月時の ROM が低値であり、術後3ヵ月時の運動時痛は高値であった。LHB の処置について、腱板断裂患者では LHB 病変が合併することがよく知られている。扁平化した LHB では膠原線維の断裂、毛細血管の増生と肉芽組織の形成が認められ²⁰⁾、LHB 病変は腱板修復術後の疼痛残存の原因として考えられていることから、LHB 病変を認める症例に対しては腱固定や腱切離術といった術中処置が選択されることが一般的とされている²¹⁾。しかし、腱固定・切離術を施行した症例では LHB 温存群と比較して、術後1ヵ月時の安静時痛、動作時痛が高値であったと報告されている²²⁾。本研究でも経過不良群で LHB の処置症例が多かったため、術後3ヵ月時の運動時痛も高値であり、ROM も低値であった可能性が考えられる。また、Nakamura

ら⁹⁾は、ARCR 後2年の日本整形外科学会肩関節疾患治療成績判定基準（以下、JOA スコア）に関連する因子として、術後2ヵ月時の疼痛強度との関連性を報告している。本研究においても経過不良群で術後3ヵ月時の運動時痛が高値であり、術後6ヵ月時の臨床成績に関しても術後早期の疼痛が影響したことが示唆された。ROM について、術前の屈曲、外転 ROM が不良な症例では術後6ヵ月の肩 UCLA スコアが低値であったと報告されている⁸⁾。また、術後3ヵ月時の屈曲 ROM が術後2年時の JOA スコアに⁹⁾、術後3ヵ月時の屈曲、外旋 ROM が術後2年時の ROM 回復と関連していることが報告されている²³⁾。本研究も経過不良群で術前、術後3ヵ月時の屈曲、外転 ROM が低値であり、術後6ヵ月時の臨床成績に関しても術前や術後早期の肩関節 ROM が影響する可能性が考えられた。

二項ロジスティック回帰分析において、術後3ヵ月時の屈曲 ROM のみが有意な変数として選択された。原ら²⁴⁾は、肩関節を中心に空間的区分を6つに分類し、日常生活動作がどの区分で多く行われているか調査した。その結果、67%が肩甲上腕関節前方および内側の動作であったと報告している。このことから、日常生活動作では屈曲方向の動きの要素が多いといえ、ARCR 後の屈曲 ROM の回復は患者満足度や臨床成績にも影響を及ぼす可能性が考えられる。また、肩 UCLA スコアでは「ROM」や「筋力」に関して屈曲を用いて評価している。そのため、他の方向の ROM と比較して、屈曲 ROM が反映されやすかった可能性も考えられる。ROC 曲線の結果から、術後3ヵ月時の屈曲 ROM のカットオフ値は112.5°、AUC は0.766 と中程度であった²⁵⁾。Nakamura ら⁹⁾は、ARCR 後2年の JOA スコアに関連する因子である術後3ヵ月時の屈曲 ROM のカットオフ値は110°であったと報告しており、Tonotsuka ら²³⁾は、術後2年で十分な ROM を獲得するための指標として、術後3ヵ月時の屈曲 ROM で120°以上を目指すべきと報告している。本研究で示されたカットオフ値も先行研究と同等の数値であり、ARCR 後のリハビリを実施していく上で定量的な指標として妥当であると考えられる。肩関節の屈曲運動に関して、見目ら²⁶⁾は腱板術後患者を対象に超音波検査を用いて、他動運動における上腕骨頭動態と自動 ROM との関連性を評価した結果、術後3ヵ月で大結節が肩峰を通過する症例では屈曲 ROM が有意に大きかったことを報告している。また、肩甲胸郭関節では屈曲90°以上で肩甲骨外旋、後傾の動きが大きくなることが報告されており²⁷⁾、肩甲上腕リズムも屈曲0°～90°が約2.7:1に対して、屈曲90°～120°で約1.6:1と挙上角度の増加に伴い、肩甲骨での割合が大きくなることが

報告されている²⁸⁾。このことから、経過良好群は不良群と比較して、肩甲上腕関節における骨頭動態や肩甲骨の可動性が良好であった可能性が考えられる。そのため、他動 ROM 訓練の際に上腕骨頭動態に注目することや肩甲胸郭機能訓練を積極的に実施することは良好な術後成績を得るために重要であると考えられる。その一方で、術後3ヵ月時点では修復腱板がまだ安定しておらず²⁹⁾、再断裂が生じやすいと報告されていることから³⁰⁾、この時期では再断裂のリスクを考慮しながら ROM 訓練を実施する必要があるといえる。また、Cho ら⁶⁾は、術後6ヵ月時の肩 UCLA スコアについて、労働強度が影響すると報告している。本研究でも職業について検証を行ったが、2群間で差は認められず先行研究と異なる結果となった。その理由として、先行研究では対象者に小・中断裂患者に加えて大・広範囲断裂患者も含まれているためと考えられる。断裂サイズの大きな症例では小さな症例と比較して、術後 ROM 改善や機能回復も遅延することが報告されている³¹⁾³²⁾。そのため、労働強度の大きな重労働では術後6ヵ月の時点で復帰しても満足度のいく作業が困難であると推測され、肩 UCLA スコアにおける患者満足度にも影響した可能性が考えられる。一方、本研究では小・中断裂患者を対象者としているため、上記に挙げた労働強度に関する影響は少なかったと考えられる。

本研究にはいくつかの限界がある。まず、本研究は小・中断裂患者を対象としており、大・広範囲断裂患者は適応ではないこと、除外基準となった転院した症例、ドロップアウトした症例、再断裂を呈した症例についても反映されていないことが挙げられる。また、手術の適応基準に関して、明確化されていないことが挙げられる。次に、評価項目について、断裂腱板の質や脂肪浸潤、合併症が含まれていないことが挙げられる。ARCR 後の臨床成績に関しては断裂腱板の退縮、脂肪浸潤、糖尿病も影響することが報告されており⁶⁾³²⁾、今後はこれらの要因も含めた検討が必要であると考えられる。次に、肩関節機能評価として、筋力評価や肩甲胸郭関節の評価が行えていないことが挙げられる。大沢ら³³⁾は、術後6ヵ月時点で外転筋力の改善率と JOA スコアの改善率に正の相関が認められたことを報告しており、筋力も臨床成績に影響を及ぼす因子であると考えられる。しかし、本研究の評価のタイミングでは修復腱板の回復が十分でないことが推測されるため³⁴⁾³⁵⁾、筋力評価を実施することで再断裂を生じさせてしまう可能性が高いことから、今回は困難であると判断した。次に、ROC 曲線の分析において、AUC が中程度であったことが挙げられる。しかし、先行研究においても同程度の精度が報告されてい

るため⁹⁾、本研究で示したカットオフ値に関して影響は少ないと考えられる。最後に、本研究で使用した臨床成績は肩 UCLA スコアのみであり、患者の主観評価が考慮できていないことが挙げられる。今後は患者立脚型評価を含めた分析を行い、多角的な視点からの予後予測因子の検討が必要であると考えられる。

結 論

本研究は ARCR 後の小・中断裂患者において、術後6ヵ月時の臨床成績の予後予測因子の検討を行い、その因子のカットオフ値を明らかにすることを目的とした。その結果、術後3ヵ月時の屈曲 ROM が予測因子として抽出され、カットオフ値は 112.5° であった。本研究の結果から術後6ヵ月で良好な臨床成績を獲得するためには、術後3ヵ月時の肩関節屈曲 ROM が重要であることが示唆され、また、本研究で示されたカットオフ値が術後リハビリを実施する上で指標の一つになることが示唆された。

利 益 相 反

本研究について、開示すべき利益相反はない。

謝 辞

本研究にご協力いただいた患者様、データの収集にご協力いただいた運動器しまだ病院リハビリテーション部のスタッフの皆様に深謝いたします。

文 献

- Cole BJ, McCarty III L, Kang RW, et al.: Arthroscopic rotator cuff repair: prospective functional outcome and repair integrity at minimum 2-year follow-up. *J Shoulder Elbow Surg* 2007; 16: 579-585.
- Zuke WA, Leroux TS, Gregory BP, et al.: Establishing maximal medical improvement after arthroscopic rotator cuff repair. *Am J Sports Med* 2018; 46: 1000-1007.
- 望月智之, 中川照彦, 橋口 宏, 他: 「2013 年度・肩の手術アンケート調査」報告. *肩関節* 2016; 40: 678-687.
- 望月智之, 中川照彦, 岡村健司, 他: 「2017 年度・肩の手術アンケート調査」報告. *肩関節* 2019; 43: 863-873.
- Pécora JO, Malavolta EA, Assunção JH, et al.: Prognostic factors for clinical outcomes after rotator cuff repair. *Acta ortopédica brasileira* 2015; 23: 146-149.
- Cho CH, Bae KC, Kim DH: Patients who have undergone rotator cuff repair experience around 75% functional recovery at 6 months after surgery. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2021; 29: 2220-2227.
- Boissonnault WG, Beth Badke, Wooden MJ, et al.: Patient outcome following rehabilitation for rotator cuff repair surgery: the impact of selected medical comorbidities. *J Orthop Sports Phys Ther* 2007; 37: 312-319.
- 石垣範雄, 畑 幸彦, 小林博一, 他: 肩腱板断裂に伴う関節可動域制限が術後成績に及ぼす影響. *中部整災誌* 2013; 56: 1081-1082.
- Nakamura Y, Gotoh M, Mitsui Y, et al.: Prognostic factors affecting clinical outcomes after arthroscopic rotator cuff repair: importance of functional recovery by 3 months after surgery. *J Orthop Surg Res* 2018; 13: 1-7.
- Kim CW, Kim JH, Kim DG: The factors affecting pain pattern after arthroscopic rotator cuff repair. *Clin Orthop Surg* 2014; 6: 392-400.
- 前田鎮男, 上園春仁, 福島好人, 他: 腱板断裂に対する異なる修復術と異なるリハビリの成績の比較. *整形外科と災害外科* 2007; 56: 79-81.
- 松浦恒明, 進 訓央, 佐々木聡明, 他: 腱板断裂サイズの新しい分類に関する考察. *肩関節* 2013; 37: 661-664.
- 廣瀬聡明, 野中伸介, 上野栄和, 他: 腱板断裂に対する鏡視下腱板修復術の治療成績. *肩関節* 2011; 35: 883-887.
- 橋本 卓: 鏡視下腱板修復術の治療成績: 修復良好例と再断裂例の比較検討. *肩関節* 2015; 39: 500-505.
- Sugaya H, Maeda K, Matsuki K, et al.: Functional and structural outcome after arthroscopic full-thickness rotator cuff repair: single-row versus dual-row fixation. *Arthroscopy* 2005; 21: 1307-1316.
- Ellman H, Kay SP: Arthroscopic subacromial decompression for chronic impingement. Two-to five-year results. *J Bone Joint Surg Br* 1991; 73: 395-398.
- Imai T, Gotoh M, Tokunaga T, et al.: Cutoff value of Japanese Orthopaedic Association shoulder score in patients with rotator cuff repair: based on the University of California at Los Angeles shoulder score. *Journal of Orthopaedic Science* 2017; 22: 438-441.
- 見目智紀, 宮島玄陽, 中脇充章, 他: 肩峰下インピンジメント症候群患者と健康者の肩関節回旋動作の比較 Cine-MRI による評価. *肩関節* 2015; 39: 769-772.
- Moorthy V, Chen JY, Lee M, et al.: The UCLA Shoulder Score Is a Better Predictor of Treatment Success Than the Constant and Oxford Shoulder Scores After Arthroscopic Rotator Cuff Repair: A 2-Year Follow-Up Study. *Arthrosc Sports Med Rehabil* 2021; 3: e485-e490.
- 吉岡玄逸, 堀 克弘, 平岡誠司, 他: 腱板断裂に伴う上腕二頭筋長頭腱障害の組織学的検討. *肩関節* 2001; 25: 249-252.
- 大久保敦, 岩下 哲, 橋口 宏, 他: 鏡視下腱板断裂修復術後の治療成績に対する上腕二頭筋長頭腱損傷の影響. *肩関節* 2015; 39: 773-776.
- 吉村英哉, 二村昭元, 望月智之: 上腕二頭筋長頭腱病変に対する温存手術および腱固定・切離術の術後成績. *肩関節* 2016; 40: 920-923.
- Tonotsuka H, Sugaya H, Takahashi N, et al.: Target range of motion at 3 months after arthroscopic rotator cuff repair and its effect on the final outcome. *Journal of Orthopaedic Surgery*, 2017; 25: 2309499017730423.
- 原 正文, 富永奈津子, 野見山直子: 肩関節を中心とした日常生活動作の空間的区分 (Zone). *肩関節* 2008; 32: 513-516.
- Fischer JE, Bachmann LM, Jaeschke R: A readers' guide to the interpretation of diagnostic test properties: clinical example of sepsis. *Intensive Care Med* 2003; 29: 1043-1051.
- 見目智紀, 宮島玄陽, 名倉直重, 他: 腱板縫合術後の肩関節挙上動作の超音波検査による経時的評価. *肩関節* 2021;

- 45: 317–322.
- 27) Fung M, Kato S, Barrance PJ, et al.: Scapular and clavicular kinematics during humeral elevation: a study with cadavers. *J Shoulder Elbow Surg* 2001; 10: 278–285.
- 28) 竹井 仁, 根岸 徹, 後藤保正, 他: MRI による肩関節屈曲運動の解析. *日本保健科学学会誌* 2011; 14: 13–23.
- 29) 松山嘉彦, 中川照彦, 佐藤哲也, 他: 鏡視下腱板修復術の術後 MRI 所見の推移と短期成績の検討. *肩関節* 2011; 35: 493–495.
- 30) 田中誠人, 林田賢治: 腱板断裂修復術後の再断裂時期の検討. *肩関節* 2012; 36: 603–605.
- 31) 小森隆一, 森原 徹, 櫛田里恵, 他: 腱板断裂修復術後症例の断裂サイズの違いによる肩関節可動域の経過について. *運動器リハビリテーション* 2015; 26: 328–331.
- 32) Ozbaydar MU, Tonbul M, Tekin AC, et al.: Arthroscopic rotator cuff repair: evaluation of outcomes and analysis of prognostic factors. *Acta Orthop Traumatol Turc* 2007; 41: 169–174.
- 33) 大沢敏久, 高岸憲二, 鈴木秀喜, 他: 外転筋力改善率による肩腱板修復術後成績の検討. *肩関節* 2005; 29: 343–346.
- 34) Thomopoulos S, Hattersley G, Rosen V, et al.: The localized expression of extracellular matrix components in healing tendon insertion sites: an in situ hybridization study. *J Orthop Res* 2002; 20: 454–463.
- 35) Galatz L, Sandell L, Rothermich S, et al.: Characteristics of the rat supraspinatus tendon during tendon-to-bone healing after acute injury. *J Orthop Res* 2006; 24: 541–550.

Examination of Factors and Cut-off Values that Affect Clinical Results 6 Months after Surgery for Patients after Arthroscopic Rotator Cuff Repair

Mitsuhiro Seo¹⁾, Atsushi Hyodo¹⁾, Naoki Tsuchida¹⁾,
Hidekazu Nakai²⁾, Hiroshi Katsuta³⁾

¹⁾ Department of Rehabilitation, Shimada Hospital

²⁾ Department of Orthopaedic Surgery, Daini Osaka Police Hospital

³⁾ Department of Orthopaedic Surgery, Shimada Hospital

Objective: This study aimed to investigate the prognostic factors of clinical outcomes 6 months after surgery in patients after arthroscopic rotator cuff repair (ARCR) and determine the cut-off values of these factors.

Methods: Age, sex, occupation, presence of subscapularis repair, presence of treatment for the long head of biceps brachii (LHB), presence of intraoperative manipulation, range of motion (ROM) and pain on motion before and 3 months postoperatively were evaluated. Binomial logistic regression analysis was performed using the items with significant differences between the two groups as independent variables and the University of California at Los Angeles shoulder score as the dependent variable. The ROC curves were used to determine the cut-off values for selected items.

Results: There were differences between the two groups in the presence of LHB treatment, preoperative and postoperative ROM, and pain on motion 3 months postoperatively. The results of the binomial logistic regression analysis showed that flexion ROM 3 months postoperatively was selected, and the cut-off value was 112.5°.

Conclusion: Early postoperative shoulder function is important to achieve good clinical results 6 months postoperatively, and the cut-off value is an indicator of postoperative rehabilitation.

Key words: Arthroscopic rotator cuff repair, The University of California at Los Angeles shoulder score, Prognostic factor, Cut-off value

研究論文 (原著)

手術療法後の変形性股関節症患者に対する歩行異常性の 観察評価と三次元歩行解析データとの 基準関連妥当性の検討*

富岡真光^{1) #} 原田和宏^{2) 3)} 山科俊輔⁴⁾
山崎 倫⁵⁾ 宇治村信明¹⁾

【目的】変形性股関節症（以下、股OA）手術療法後患者の歩行異常性に関し、観察評価の内容的妥当性を得た上で、三次元動作解析データを用いた基準関連妥当性の検証を目的とした。【方法】歩行異常性の項目プールを作成し、観察評価に関する評定を三件法とした。内容的妥当性は股OAの有識者4名から意見を得て精査した。基準関連妥当性は三次元動作解析データを外的基準として検討した。【結果】内容的妥当性を得た観察評価項目は7項目であった。基準関連妥当性は「項目Ⅰ：踵接地時の足部の状態（足関節角）」、「項目Ⅲ：立脚中期の体幹の状態（側方移動の対称性）」、「項目Ⅴ：患側立脚中期の股関節の状態（股関節内転角）」、「項目Ⅵ：患側踵離地時の股関節の状態（股関節伸展角）」の4項目で支持された。【結論】股OA手術療法後の歩行異常性に関する4つの観察評価項目は、基準関連妥当性を有し臨床現場で使用できる可能性がある。

キーワード 変形性股関節症、歩行異常性、観察評価、基準関連妥当性、三次元歩行解析

はじめに

変形性股関節症（以下、股OA）に対する治療手段は、一般的に病期の進行状態によって関節温存術や全人工股

関節置換術（以下、THA）が選択されている¹⁾。THAは患者満足度が他の術式よりも高いとされ²⁾、術後には歩行能力、筋力、疼痛、抑うつ症状および自己効力感の改善効果が報告されている³⁻⁵⁾。また、関節温存術は股OAの症状緩和や病期進行の予防に有効とされる⁶⁾。しかし、THAを行った高齢患者では転倒リスクが高まることや⁷⁾、関節温存術後の患者では後にTHAが施される症例が報告されている^{8) 9)}。これらのことは、股OAに対するいずれの手術療法も、高い治療効果や患者満足度が示される一方で、病態の悪化や転倒リスクが高まることへの課題が存在することを示している。

THA後の高齢患者の転倒リスクが高まる要因としては、歩容との関係性が報告されている¹⁰⁾（本稿で歩容とは観察で捉える歩行動作の特徴や歩行の姿勢をいう）。関節温存術後の病態悪化における要因としては、関節温存術後にて正常歩行パターンから逸脱することが可能性として考えられる¹¹⁻¹³⁾。

股関節疾患の歩容は、三次元動画解析による評価が報告されているが^{14) 15)}、導入コストや分析に時間を要する点から日々の臨床場面ではすぐわない。容易に捉えられる観察評価の開発が試みられてはいるが、尺度特性が報

* Evaluation of Observable Items of Gait Abnormality in Patients with Postoperative Hip Osteoarthritis Patients: Criterion-Related Validity between Observational Evaluation and Three-dimensional Gait Analysis Data

1) 松山リハビリテーション病院リハビリテーション部
(〒791-1111 愛媛県松山市高井町1211番地)

Masamitsu Tomioka, PT, MS, Nobuaki Uzimura, PT: Department of Rehabilitation, Matsuyama Rehabilitation Hospital

2) 吉備国際大学保健福祉研究所
Kazuhiro Harada, PT, PhD: Research Institute of Health and Welfare, Kibi International University

3) 吉備国際大学大学院保健科学研究科
Kazuhiro Harada, PT, PhD: Graduate School of Health Science Studies, Kibi International University

4) 平病院リハビリテーション部
Shunsuke Yamashina, PT, PhD: Department of Rehabilitation, Taira Hospital

5) 南高井病院リハビリテーション部
Osamu Yamazaki, PT, MS: Department of Rehabilitation, Minamitakai Hospital

E-mail: masamitsuoneseven@yahoo.co.jp

(受付日 2022年6月20日/受理日 2022年9月7日)

告されていない¹⁶⁾。股 OA の手術療法後の理学療法では、治療前後や長期経過における歩容変化を知るための評価手段を臨床現場において十分には持ち得ていないといえる。変形性膝関節症では観察評価が検討され、病態や重症化における因子として扱うことが提起されている¹⁷⁾。股 OA の手術療法後の歩容に対しても、尺度特性や疾患の特性を踏まえた観察可能な定量的評価指標を構築していくことが急務と考える。観察評価に対しては、歩行異常性を捉える上での確定基準との基準関連妥当性および病態変化や転倒リスクを表す機能との構成概念妥当性を兼ね備えているかを明らかにすることが課題である。観察評価の精度向上においては、評価者間・内信頼性や時間経過の変化に対する反応性の検証を重ねる必要があると考える。最終的には、臨床現場において容易で十分な尺度特性を有した歩行異常性評価の確立を目指す。

本研究の目的は、股 OA 手術療法後の歩容に対し、有識者から合意が得られた観察可能な歩行異常性評価項目を作成し、三次元歩行解析データを確定基準とする基準関連妥当性を検討することである。

対象と方法

1. 対象

対象者については、研究者が所属している医療機関に入院中である股 OA に対する手術療法後の患者を被験者とした。調査期間は、2020 年 2 月から 2021 年 6 月までとした。

対象者選定の包含基準は、身体能力の一定化を考慮し 10 m 歩行が理学療法士の見守りの下、補助具なしで可能な者とした。除外基準は、10 m 以上連続して独歩が困難な者、既往歴に他の整形外科的疾患および脳血管疾患を有し、歩行に影響を与える可能性がある者、3 cm 以上の構造的脚長差を有する者、認知機能に問題がある者、同意が得られない者とした。

2. 方法

1) 属性

基本属性の調査としては、年齢、体重、身長を調査した。医学的属性の調査としては、構造的脚長差 (X 線所見) にて Woolson ら¹⁸⁾、中野渡ら¹⁹⁾の方法に準じて調査した。

2) 観察評価が可能な歩行異常性評価項目案の作成

評価項目の作成は、文献レビューを用いる方法²⁰⁾や、以前から使用されている項目を参考にする方法がある²¹⁾。股 OA における歩行異常性の項目は、まず観察による歩行分析グループ (Observational Gait Instructor

Group : OGIG)²²⁾の歩行分析基本データ・フォーム 33 項目、股関節疾患由来の歩行異常性のレビュー²³⁻³⁰⁾ 10 項目、股関節疾患における歩容評価¹⁶⁾を引用し、評価内容が関連する項目を系統的に抽出する項目プールの作成にて基準を定めた。抽出した各評価項目の観察評価における基準内容は、0 から 2 の 3 件法による段階的評価方法とした。0 の内容は正常歩行とし先行研究より引用し定め³¹⁾、1 から 2 の内容は正常歩行から歩行異常性となる増悪への段階付け評価を目的とした。段階付けに対する評価内容の作成に関しては、研究に携わりのある 3 名と研究にかかわりのない 2 名の理学療法士で作成チームを構成した。作成チームにおいて、内容の理解が全員一致するまで改変および修正を行い、歩行異常性評価項目案を用意した。

3) 評価項目案に対する内容的妥当性の検討方法

内容的妥当性の検討には、最低 3 名以上の専門家を収集する必要があるとされている³²⁾。本研究においても、歩行異常性評価項目案に対する内容妥当性としては、有識者による判断方法を用いた。有識者は股 OA の研究領域または学術領域に精通する者とし、理学療法士免許取得後年数が 10 年以上であること、研究機関の所属経験または学術講師としての経験があること、股 OA に理学療法の評価又は介入に関する論文実績があることを基準に選定し、4 名から協力の承諾を得た。観察評価における各基準項目および評価基準内容の適切性に対しては、該当する項目および内容であるかを 1. 適している 2. どちらともいえない 3. 適していないの 3 件法で回答を依頼した。手順としては、1 度目の回答結果を踏まえ、作成チームにて修正を加え、再度回答の依頼を行い、合計 2 度の回答依頼、修正を行った。結果は、4 名中 3 名以上の同意が得られた項目を採用とし、それでも同意を得られない場合には項目からの削除とした。なお、いずれも観察的に認識が可能である二次元での動作項目を対象とし、水平面における項目は除外とした。

4) 歩行異常性評価項目案を用いた観察評価方法

観察評価用の歩行動画の撮影方法は、三脚を用いて 3 台のデジタルビデオカメラ (Panasonic HC-VX992M) が床面と水平になるように固定し、高さはカメラレンズの中心が被写体の臍の部分となるように事前に設定した。撮影は正投影面となる撮影面とし、前額面をスタート地点から 9.6 m 地点、矢状面を歩行路 7.6 m の中間点より奥行 5 m 地点とした。いずれも、全身像と 2 歩行周期分の歩行動作がカメラフレーム内に納まる位置へカメラを設置し、録画時にズーム機能を使用せずに撮影を行った (図 1)。また、対象者へは服装の違いによる観察への影響を配慮し、極力薄手の衣類の着用、両上腕部、大腿部、

下腿部へゴムバンドを巻き、上着をズボンへ入れてもらうよう依頼し、靴もスニーカーの着用へと統一した。対象者の歩行は、通常歩行とし「いつも歩かれている速さでお願いします」と教示し、歩行路は7.6 mとした。歩行異常性評価項目案を用いた観察評価は、理学療法士10年目の1名にて、項目別における0から2の3件法を基に評定を判断した。評定結果に対しては、KendallのW係数により1度目の評価と再評価間の値から評価者内信頼性の有無を確認した。なお、再評価に際しては、1度目の評価と同一の動画を観察したため、評価者に担当症例が含まれていないこと、8週間以上の期間を設けて1度目の評価結果を覚えていないことを確認し実施した。

三次元歩行解析は、観察評価用と同様の撮影条件とし、撮影毎に座標算出のためのキャリブレーション作業を行った。キャリブレーション作業は X 軸および Y 軸を 3 m、Z 軸を 1.7 m の座標とし、カメラ毎に 3 m × 3 m の正方形の頂点、計 4 カ所で撮影を行った（図 1）。なお、Z 軸の見立てとしては、鉛直性を確保するために水平器にて水平を確認した衝立の高さとした。三次元データの処理には三次元動作解析ソフト（株式会社 Q'sfix 社製、Frame-DIAS6）を使用し、観察評価項目に該当するパラメーターを算出した。パラメーターの算出には、研究の目的を知らない経験年数 6 年目の理学療法士 1 名が実施した。

解析処理における対象項目のパラメーターにおいて、項目Ⅰ足関節背屈角度は前額面上からの映像で踵のマーカーが捉えきれない点に対し、腓骨頭と外果を結ぶ線を基本軸とし、外果と第五中足骨底を結ぶ線を仮の移動軸とし一度角度を算出した。そして、矢状面上における基

統計学的処理は統計ソフト IBM SPSS Statistics23 を使用し、観察評価項目ごとに1度目で得られた3件法による評定結果をもとに群分けし、観察評価項目に対応した三次元歩行解析で得られたパラメーターとの関連性をKruskal-Wallis 検定にて検討した。三次元歩行解析で得られたパラメーターにおける外れ値に関しては、四分位範囲を利用して処理を行った。観察評価項目の作成から基準関連妥当性の検討までの手順は図2に示す。

本研究は、松山リハビリテーション病院における倫理委員会にて審査および承認を得て実施（承認番号 19112602）。対象者へは、本研究の趣旨、目的、方法、安全管理、不利益、個人情報の取り扱いについて説明し、書面にて同意を得て実施した。

対象者は、股 OA に対する手術療法後患者 21 名であった。平均年齢 56.8 ± 11.1 歳であった。本研究における対象者の特性、属性、身体機能は表 1 に示す。

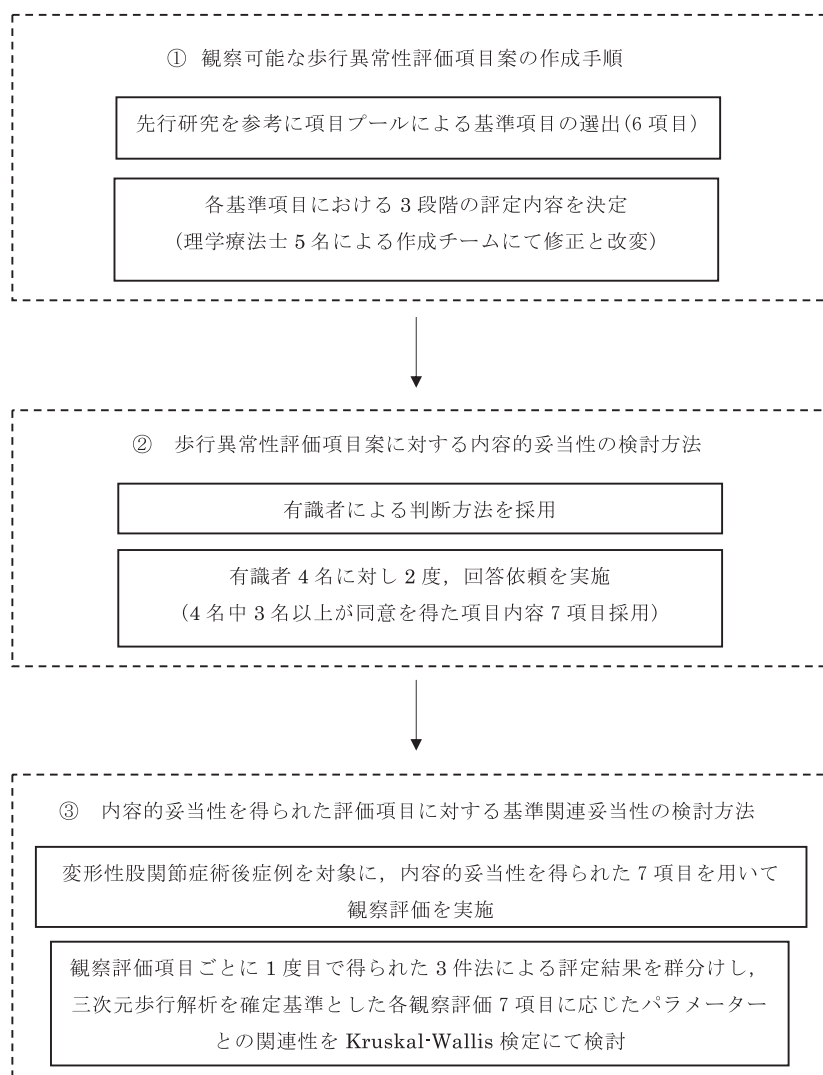


図2 観察評価項目の作成から基準関連妥当性の検討までの手順

表1 研究対象者の特性

基本属性 n = 21	
性別	女性 21 名
年齢, 歳	56.8 (11.1)
体重, kg	57.1 (9.8)
身長, cm	154.6 (6.4)
医学的属性	
術式	寛骨臼回転骨切り術 5 名, 人工股関節全置換術 16 名
身体機能	
構造的脚長差, mm	5.7 (7)
平均値 (標準偏差値)	

2. 項目プールによる歩行異常性評価項目案の基準結果

歩行異常性評価項目案は「項目Ⅰ：踵接地時」、「項目Ⅱ：立脚中期の体幹傾斜角」、「項目Ⅲ：患側立脚中期の骨盤傾斜角」、「項目Ⅳ：患側立脚中期の股関節内転角」、

「項目Ⅴ：踵離地時の患側股関節伸展角」、「項目Ⅵ：歩行リズム」の6項目とした(表2)。

3. 評価項目案に対する内容的妥当性の結果

評価項目案として作成された6項目に対する1度目の有識者からの回答書では、項目Ⅰの踵接地時の足関節背屈は踵接地有無を含めた観察への修正、新たな項目としては立脚中期への体幹側方移動に対する左右差を追加、項目Ⅵの歩行リズムは1歩行周期の立脚期時間差への歩行異常性評価項目へと修正した。2度目の回答書から最終的に内容的妥当性が得られたと判断した歩行異常性評価項目は「項目Ⅰ：踵接地時の足部の状態(足関節角)」、「項目Ⅱ：患側立脚中期の体幹の状態(体幹傾斜角)」、「項目Ⅲ：立脚中期への体幹の状態(側方移動の対称性)」、「項目Ⅳ：患側立脚中期の骨盤の状態(骨盤傾斜角)」、「項目Ⅴ：患側立脚中期の股関節の状態(股関節内転角)」、「項目Ⅵ：患側踵離地時の股関節の状態(股

表 2 項目プールによる歩行異常性評価項目案の基準結果（足関節から骨盤）

OGIG - 歩行分析基本データ・フォーム ²²⁾	股関節疾患での歩行異常性	歩容評価法の文献引用 ¹⁶⁾	基準項目
(足関節)			
ローヒール（足関節底屈 15°, 膝関節完全伸展で足底平行接地）	立脚初期の踵接地不十分 ²³⁾ , 立脚中期以降、足関節背屈角 度の増大 ²⁴⁾	側面で initial contact にて踵接地	Initial contact 時の足関節角（側面）
フォアフットコンタクト（足関節底屈 20°, 膝関節屈曲 20° で前足部からの接地）			
フットフラットコンタクト（足底平行接地）			
フットスラップ （初期接地後の底屈、パタンと床に接地する）			
過度な関節運動（底背屈、回内外）			
早すぎるヒールオフ （立脚中期より早期に踵が上がる）			
ノーヒールオフ（立脚終期で踵離れしない）			
トゥドラッグ（遊脚期でつま先が引っ掛かる）			
反対側の伸び上がり（立脚肢の伸び上がり）			
(膝関節)			
屈曲制限（運動範囲の減少）			
過度な屈曲（運動範囲の増加）			
動揺（1 つの相で素早い屈伸）			
過伸展（ゼロポジション以上の伸展）			
急激な伸展（激しく完全伸展）			
内外反（大腿骨に対する脛骨の内側、外側角度の変化）			
(股関節)			
屈曲制限（不十分な股関節屈曲）	股関節屈曲および伸展可動域 （push off）の減少 ²⁴⁾	側面で mid stance から terminal stance にてズボンのラインからの垂線に 対して大腿骨が平行から伸展	terminal stance 時の股関節角（側面）
過度の屈曲（運動範囲の増加）			
バーストラクトレクト（遊脚の終期に観察される降り出した脚の戻り）の逸脱			
内旋（膝蓋骨の内側観察）	遊脚期に外旋の減少、立脚期 で内旋の増加 ²⁵⁾		※
外旋（膝蓋骨の外側観察）			
内転（ゼロポジション以上の内転）の逸脱	立脚期の股関節内転可動域の 減少 ²⁶⁾	正面で mid stance にてズボンのラ インからの垂線に対して大腿骨が 平行から内転 5° まで	mid stance 時の股関節内 外転角（前額面）
外転（ゼロポジション以上の外転）の逸脱	立脚期の外的な股関節外転 モーメントの減少 ²⁴⁾		
(骨盤)			
骨盤の持ち上げ（骨盤を肩に近づける）	術側立脚期に健側の骨盤が術 側より下制 ²⁷⁾ 健側の骨盤が術側より挙上 ²⁷⁾	正面で mid stance にて床面とズボ ンのラインが水平もしくは沈下 5° まで	mid stance 時の骨盤傾斜 角（前額面）
骨盤の後傾（腰椎前弯の減少）			
骨盤の前傾（腰椎前弯の増強）	push off 時の股関節伸展の減少 を代償した骨盤前傾の増大 ²⁸⁾	側面で mid stance から terminal stance にてズボンのラインが床面 と水平	※
前方回旋不足（運動範囲の減少）	患側遊脚後期の骨盤前傾が減 少もしくは後傾 ²⁵⁾	側面で pre swing から initial swing にて大腿骨が屈曲 0° を迎える前 に前方回旋が生じていない	
後方回旋不足（運動範囲の減少）		側面で mid stance から terminal stance にて大腿骨が伸展 0° を迎え る前に後方回旋が生じていない 側面で pre swing から initial swing にてズボンのラインが床面と水平	※
過度な前方回旋（運動範囲の増加）			
過度な後方回旋（運動範囲の増加）			

表2 (続き) 項目プールによる歩行異常性評価項目案の基準結果(体幹, 全体)

(体幹)			
前傾(鉛直線状より前方偏移)		側面で mid stance から terminal stance にて肩峰と大転子を結ぶ線と床からの垂線が平行	
後傾(鉛直線状より後方偏移)			
側屈(鉛直線状より側方偏移)	立脚期における体幹の術側への変位 ^{28), 29)} 術側の立脚に体幹を術側に傾け、健側の骨盤が術側より下制するのを防ぐ ²⁷⁾	正面で mid stance にて両肩峰を結んだ線が床面と水平 正面で mid stance にて後頭部が殿裂溝の直上か	mid stance 時の体幹傾斜角(前額面)
過度の前方・後方回旋(観察肢)			
(全体)			
	歩行スピードの低下, 歩幅の減少 ³⁰⁾	側面で両手が左右同等に前方および殿部後方にみえる	歩行リズム

注) O.G.I.G = Observational Gait Instructor
 ※観察的に捉えるため水平面の動作は削除とする。

表3 内容妥当性の評価結果および項目作成

1 回目の項目名	評価	コメント	2 回目の項目名	評価	コメント
項目Ⅰ－矢状面 踵接地	3/4	足部の状態評価へ 踵接地時だけでなく 前額面上の足部接地位置	項目Ⅰ－矢状面 踵接地時の足部状態	4/4	表現方法の工夫
項目Ⅱ－前額面 体幹傾斜(立脚期)	3/4	体幹側方移動項目の追加	項目Ⅱ－前額面 体幹の状態(立脚期)	4/4	他項目との表現統一化
項目Ⅲ－前額面 骨盤傾斜(立脚期)	3/4	基準線を示すことへ	※項目Ⅲ－前額面 体幹の状態(立脚期)	4/4	表現方法の検討 左右対称の判断基準 患側, 反対側どちらにも 変位する可能性
項目Ⅳ－前額面 股関節内転(立脚期)	3/4	基準線を示すことへ	項目Ⅳ－前額面 骨盤の状態(立脚期)	4/4	表現方法の検討 側方移動の項目 傾斜の方向 や内転位と外転位でグ レードの差となるのは
項目Ⅴ－矢状面 股関節伸展(踵離地時)	3/4	「身体を前方へ運ぶ様子」, 「heel off」, 「股関節伸展」 を捉えるように「伸展運 動」か「伸展位」かを明 確化	項目Ⅴ－前額面 股関節の状態	4/4	表現方法の検討
項目Ⅵ 歩行リズム	3/4	左右の非対称性, 歩行速 度, 歩行停止の定義 立脚時間や歩幅の左右差 時間か距離のことか不明	項目Ⅵ－矢状面 股関節の状態(踵離地時)	4/4	指標を入れる
			項目Ⅶ 患側立脚時間差	4/4	両側性変形性股関節症の 場合はどうなるのか
全体に関するコメント					
特に問題ない これ以上厳密にすると, 逆に精度が落ちる					

評価: 得られた同意数/4名中, ※追記項目

関節伸展角)」、「項目Ⅶ: 立脚期時間差」の7項目とした(表3)。歩行異常性観察評価項目の詳細は図3に示す。

4. 歩行異常性の観察評価と三次元歩行解析データとの
基準関連妥当性の結果
基準関連妥当性は、21例中三次元歩行解析データが明

患側初期接地

I. 足部の状態（矢状面）【注：ニュートラル・ゼロ・ポジション＝底背屈 0 度に近い状況】



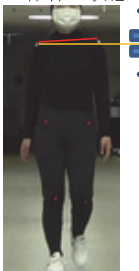
0＝足関節はニュートラル・ゼロ・ポジションであり、踵接地が明確にある。

1＝踵接地はあるが、背屈減少している。

2＝踵接地はなく、足底接地である。

患側立脚中期

II. 体幹の状態（前額面）



0＝左右肩峰を結ぶ線は、床面との水平線に対し傾斜(目安として 0 度)がなくほぼ平行な状態である。

1＝左右肩峰を結ぶ線は、床面との水平線に対し立脚側か遊脚側へ傾斜(目安として +2 度または -2 度)している。

2＝左右肩峰を結ぶ線は、床面との水平線に対し立脚側か遊脚側へ著しく傾斜(目安として +2 度以上または -2 度以上)している。

III. 体幹の状態（前額面）【注：非手術側を基準側として比較する】



0＝左右上前腸骨棘を結んだ中点の垂直線に対し、肩峰の立脚側への側方移動は基準側と比較して左右対称に移動している。

1＝左右上前腸骨棘を結んだ中点の垂直線に対し、肩峰の立脚側への側方移動は認められるが、基準側と比較して左右非対称である。

2＝左右上前腸骨棘を結んだ中点の垂直線に対し、肩峰の立脚側への側方移動は認められず、逸脱した動きとなっている。

IV. 骨盤の状態（前額面）



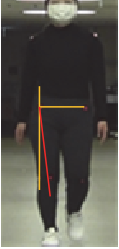
0＝左右上前腸骨棘を結ぶ線は、床面との水平線に対し立脚側から遊脚側へわずかに傾斜(目安として +4 度から +7 度)している。

1＝左右上前腸骨棘を結ぶ線は、床面との水平線に対し平行な状態であり傾斜(目安として 0 度)していないか、もしくは遊脚側へ著しく傾斜(目安として +7 度以上)している。

2＝左右上前腸骨棘を結ぶ線は、床面との水平線に対し立脚側へ傾斜(角度は問わない、マイナスの角度)している。

図 3 歩行異常性観察評価項目 (1)

V. 股関節の状態（前額面）【注：非手術側を基準側として比較する】



0＝立脚側上前腸骨棘を通る垂直線に対し、大腿中央線は内転位であり基準側と比較して足部接地部が左右対称に内側へ位置している。
 1＝立脚側上前腸骨棘を通る垂直線に対し、大腿中央線は平行に重なるか、もしくは内転位であるが基準側と比較して足部接地が左右非対称である。
 2＝立脚側上前腸骨棘を通る垂直線に対し、大腿中央線は外転位であり立脚側上前腸骨棘より外側へ足部が位置する。

患側踵離地時

VI. 股関節の状態（矢状面）



0＝腸骨稜上端を通る垂直線に対し、大腿中央線は明らかに伸展位(目安として 20 度)である。
 1＝腸骨稜上端を通る垂直線に対し、大腿中央線はやや伸展位(目安として 15 度から 5 度)であり、減少している。
 2＝腸骨稜上端を通る垂直線に対し、大腿中央線は伸展位(目安として 0 度)でないか、もしくは屈曲位(角度は問わない)である。

患側立脚時間

VII. 1 歩行周期における左右の立脚時間差 【注：非手術側を基準側として比較する】

0＝立脚時間は、基準側と比較して同等である。
 1＝立脚時間は、基準側と比較して差が認められる。
 2＝立脚時間は、基準側と比較して差が認められるのに加えて、歩行速度の低下がある。

図3 歩行異常性観察評価項目（2）

表4 観察評価段階別における三次元歩行解析データの3群間比較

観察項目	評価			P 値
	0	1	2	
I 踵接地, °	1.95 (-1.57-5.27)	-8.76 (-10.32-NA)	-11.49 (NA)	0.045*
II 体幹傾斜, °	0.24 (NA)	-1.46 (-4.93-1.29)	-6.54 (-10.40--1.96)	0.273
III 体幹側方移動, m	0.02 (0.01-NA)	0.03 (0.02-0.04)	0.08 (0.06-NA)	0.040*
IV 骨盤傾斜, °	-1.92 (-5.62-1.65)	-8.48 (-13.33-6.37)	0.00 (-1.99-1.72)	0.046*
V 股関節内転, °	10.73 (10.30-12.22)	8.76 (7.20-10.52)	6.84 (5.74-NA)	0.046*
VI 股関節伸展, °	9.93 (7.92-16.44)	5.80 (2.31-8.05)	-1.05 (-1.93-NA)	0.013*
VII 立脚時間差, 秒	0.07 (0.04-0.10)	0.03 (NA)	0.23 (NA)	0.119

中央値（四分位範囲）、少数サンプルサイズにより不適用の場合（NA:Not Applicable）

*p<0.05

らかとなった20例を対象に検討を実施した。また外れ値を除外し、項目Iは19例、項目IIIは18例のデータにて検討を実施した。三次元歩行解析におけるパラメーターにて有意差が得られた項目は、項目Iの足関節角、項目IIIの体幹側方移動距離、項目IVの骨盤傾斜角、項目

Vの股関節内転角、項目VIの股関節伸展角であった（表4）。なお、評価結果に対する評者内信頼性は、項目I、項目II、項目III、項目V、項目VI、項目VIIにおいてW係数の基準値0.61以上、項目IVのみ基準値以下の結果であったことを確認した。

考 察

股 OA の手術療法後における観察可能な歩行異常性評価項目の可否を研究していくにあたり、本研究は先行研究から歩行異常性項目案として基準を定め、専門家との意見交換から評価項目を構成し、それら各項目に対する基準関連妥当性を検証した。

観察評価に対する内容的妥当性は、先行研究から評価内容が関連項目を系統的に抽出する項目プールの作成に加え、有識者 4 名からの回答として、最終的に「項目 I：踵接地時の足部の状態（足関節角）」、「項目 II：患側立脚中期の体幹の状態（体幹傾斜角）」、「項目 III：立脚中期への体幹の状態（側方移動の対称性）」、「項目 IV：患側立脚中期の骨盤の状態（骨盤傾斜角）」、「項目 V：患側立脚中期の股関節の状態（股関節内転角）」、「項目 VI：患側踵離地時の股関節の状態（股関節伸展角）」、「項目 VII：立脚期時間差」の内容および評価段階に対して「適している」という結果であったため、計 7 項目が妥当性を有しているものとする。

基準関連妥当性は、項目 I、項目 III、項目 IV、項目 V、項目 VI が有意差を認める結果であった。しかし、項目 IV は評価者内信頼性における基準を満たしていないこと、また評価段階と平均角度間に相関性のある分布が認められていないため偶然の差と考える。すなわち、項目 I、項目 III、項目 V、項目 VI は基準関連妥当性が備わっているといえるが、項目 IV は備わっていないことを示唆している。項目 IV が基準を満たさなかった結果については、傾斜角を基準線と両側上前腸骨棘ラインとの角度と定義したが、その健常者における傾きは約 4～7°と報告され³³⁾、健常な約 4～7°の動きに対し「増加」か「減少」かの異常性を捉えることが難渋する課題であったと考える。項目 II、項目 VII において有意差が得られなかった結果については、角度および時間差ともに評価結果に症例の偏りが生じたためと考える。これら基準が得られなかった項目については、本研究の限界といえ、評価者が観察課題に対し習熟度を高めた上と、評価結果が分配して得られるようサンプル数増加の上で再検証が必要と考える。

結 論

本研究の最終的な目的は、股 OA の手術療法後に関連する歩行異常性に対し、臨床の場で観察評価可能な指標を明らかにし、それら歩容変化の指標から治療効果や病態悪化に対する予防に繋がる因子を導くことである。今回の研究において基準を有した 4 項目は、歩容変化に対

し、観察的かつ定量的に評価を可能とする項目であることが示された。今後は病態変化や転倒リスクとの関係性を踏まえて構成概念妥当性として明らかにし、さらに信頼性と反応性を検証することで、臨床現場での使用可能性につなげていかなければならないと考える。なお、基準関連妥当性が得られなかった 3 項目についても引き続き尺度特性を情報化し、観察評価項目としての適否の最終判断につなげていきたい。

利 益 相 反

本論文発表内容に関して申告すべき COI はなし。

謝 辞

今回、本研究へ心よく同意・参加をいただいた患者様に対し深く感謝いたします。また、内容的妥当性の検討に快くご協力をいただきました、奥村晃司氏、加藤 浩氏、建内宏重氏、対馬栄輝氏へも感謝いたします。

文 献

- 1) 日本整形外科学会診療ガイドライン委員会、変形性股関節診療ガイドライン策定委員会（編）：変形性股関節症 診療ガイドライン 2016 改定第 2 版、pp. 134-148；日本整形外科学会、日本股関節学会・監：2016、南江堂、東京。
- 2) Nilsson AK, Isaksson F: Patient relevant outcome 7 years after total hip replacement for OA—a prospective study. BMC Musculoskeletal Disord 2010; 11: 47.
- 3) Gilbey HJ, Ackland TR, Wang AW, et al.: Exercise improves early functional recovery after total hip arthroplasty. Clin Orthop Relat Res 2003; 408: 193-200.
- 4) Dohnke B, Knäuper B, Müller-Fahrnow W: Perceived self-efficacy gained from, and health effects of, a rehabilitation program after hip joint replacement. Arthritis Rheum 2005; 53: 585-592.
- 5) Heiberg KE, Bruun-Olsen V, Ekeland A, et al.: Effect of a walking skill training program in patients who have undergone total hip arthroplasty: Followup one year after surgery. Arthritis Care Res 2012; 64: 415-423.
- 6) 日本整形外科学会診療ガイドライン委員会、変形性股関節診療ガイドライン策定委員会（編）：変形性股関節症 診療ガイドライン 2016 改定第 2 版、pp. 124-133；日本整形外科学会、日本股関節学会・監：2016、南江堂、東京。
- 7) Ninomiya K, Takahira N, Ochiai S, et al.: Incidence of postoperative complications and non- periprosthetic fractures after total hip arthroplasty: A more than 10-year follow-up retrospective cohort study. Phys Ther Res 2021; 24: 77-83.
- 8) Ito H, Takatori Y, Moro T, et al.: Total hip arthroplasty after rotational acetabular osteotomy. J Arthroplasty 2015; 30: 403-406.
- 9) Tanaka T, Moro T, Ishikura H, et al.: Characteristics of three-dimensional acetabular morphology of patients with excellent outcome after rotational acetabular osteotomy over 20 years. J Orthop Surg Res 2021; 16: 192.

- 10) Ikutomo H, Nagai K, Tagomori K, et al.: Gait Abnormality Predicts Falls in Women After Total Hip Arthroplasty. *J Arthroplasty* 2018; 33: 3215–3219.
- 11) Thomas-Aitken HD, Willey MC, Goetz JE: Joint contact stresses calculated for acetabular dysplasia patients using discrete element analysis are significantly influenced by the applied gait pattern. *J Biomech* 2018; 79: 45–53.
- 12) Gahramanov A, İnanıcı F, Çağlar Ö, et al.: Functional results in periacetabular osteotomy: is it possible to obtain a normal gait after the surgery? *Hip Int* 2017; 27: 449–454.
- 13) 金井 章, 足立明美, 高須裕子, 他: 寛骨臼回転骨切り術後の最大歩行速度と下肢筋力の関連. *理学療法科学* 1996; 11: 17–20.
- 14) Lugade V, Wu A, Jewett B, et al.: Gait asymmetry following an anterior and anterolateral approach to total hip arthroplasty. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2010; 25: 675–680.
- 15) Queen RM, Appleton JS, Butler RJ, et al.: Total hip arthroplasty surgical approach does not alter postoperative gait mechanics one year after surgery. *PM R* 2014; 6: 221–226.
- 16) 近藤秀哉, 三田村信吾, 宮ノ脇翔, 他: 当院の股関節疾患歩容評価法を用いた歩容の検討. *Hip Joint* 2014; 40: 113–115.
- 17) 山科俊輔, 原田和宏, 小野晋也, 他: 保存療法中の変形性膝関節症患者に対する歩行異常性の観察評価と三次元歩行解析データとの基準関連妥当性および再検査信頼性の検討. *Jpn J Rehabil Med* 2019; 56: 1032–1043.
- 18) Woolson ST: Leg length equalization during total hip replacement. *Orthopedics* 1990; 13: 17–21.
- 19) 中野渡達哉, 鈴鴨よしみ, 神先秀人, 他: 人工股関節置換術後の機能的脚長差が健康関連 QOL に及ぼす影響—バス解析を用いた障害構造モデルの検討—. *理学療法科学* 2016; 43: 30–37.
- 20) Faria CD, Teixeira-Salmela LF, Nadeau S: Development and validation of an innovative tool for the assessment of biomechanical strategies: the Timed “Up and Go” -Assessment of Biomechanical Strategies (TUG-ABS) for individuals with stroke. *J Rehabil Med* 2013; 45: 232–240.
- 21) 平井洋子: 測定の妥当性からみた尺度構成. pp. 21–49; 吉田寿夫・編著: 心理学研究の新しいかたち. 2006, 誠信書房, 東京.
- 22) Kirsten GN: 原著: 観察による歩行分析. pp. 171–175; 月城慶一・訳: 2013, 医学書院, 東京.
- 23) 加藤 浩: 術後股関節疾患患者に対する踵接地を意識させた歩行訓練が股関節外転筋活動に及ぼす影響—表面筋電図による積分筋電図及び wavelet 周波数解析—. *理学療法科学* 2012; 27: 479–483.
- 24) Ewen AM, Stewart S, St Clair Gibson A, et al.: Post-operative gait analysis in total hip replacement patients—a review of current literature and meta-analysis. *Gait Posture* 2012; 36: 1–6.
- 25) 田中泰弘, 守屋秀繁, 秋田 徹: 変形性股関節症患者の三次元歩行分析. *関節外科* 1992; 11: 7–15.
- 26) Shrader MW, Bhowmik-Stoker M, Jacofsky MC, et al.: Gait and stair function in total and resurfacing hip arthroplasty: a pilot study. *Clin Orthop Relat Res* 2009; 467: 1476–1484.
- 27) 杉本和隆: 人工関節のリハビリテーション 術前・術後期・術後のガイドブック. p. 100; 美崎定也, 相澤純也・編著: 2015, 三輪書店, 東京.
- 28) Perron M, Malouin F, Moffet H, et al.: Three-dimensional gait analysis in women with a total hip arthroplasty. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2000; 15: 504–515.
- 29) Madsen MS, Ritter MA, Morris HH, et al.: The effect of total hip arthroplasty surgical approach on gait. *J Orthop Res* 2004; 22: 44–50.
- 30) Ornetti P, Maillefert JF, Laroche D, et al.: Gait analysis as a quantifiable outcome measure in hip or knee osteoarthritis: a systematic review. *Joint Bone Spine* 2010; 77: 421–425.
- 31) Kirsten GN: 原著: 観察による歩行分析. pp. 46–80; 月城慶一, 山本澄子, 江原義弘, 盆子原秀三・訳: 2005, 医学書院, 東京.
- 32) Lynn MR: Determination and quantification of content validity. *Nurs Res* 1986; 35: 382–385.
- 33) Kirsten GN: 原著: 観察による歩行分析. pp. 33–71; 月城慶一, 山本澄子, 江原義弘, 盆子原秀三・訳: 2005, 医学書院, 東京.

Evaluation of Observable Items of Gait Abnormality in Patients with Postoperative Hip Osteoarthritis Patients: Criterion-Related Validity between Observational Evaluation and Three-dimensional Gait Analysis Data

Masamitsu Tomioka¹⁾, Kazuhiro Harada²⁾³⁾, Shunsuke Yamashina⁴⁾,
Osamu Yamazaki⁵⁾, Nobuaki Uzimura¹⁾

¹⁾ *Department of Rehabilitation, Matsuyama Rehabilitation Hospital*

²⁾ *Research Institute of Health and Welfare, Kibi International University*

³⁾ *Graduate School of Health Science Studies, Kibi International University*

⁴⁾ *Department of Rehabilitation, Taira Hospital*

⁵⁾ *Department of Rehabilitation, Minamitakai Hospital*

Objective: This study aimed to examine the content validity of observational evaluations of gait abnormality in patients with postoperative hip osteoarthritis (hip OA) and then verify the criterion-related validity of these evaluations.

Methods: Items of gait abnormality were pooled for observational assessment. The content validity of 3-point scales was examined by opinions from four experts in hip OA. Criterion-related validity was verified using data extracted from a three-dimensional gait analysis.

Results: Of the seven observational evaluation items that were supported for content validity. Four items related to criterion-related validity were verified using data extracted from the three-dimensional gait analysis.

Conclusion: The four items, ‘I: Foot condition at heel ground contact (ankle joint angle)’, ‘III: Trunk condition to mid-stance (symmetry of lateral translation)’, ‘V: Hip joint condition at mid-stance on the affected side (hip adduction angle)’, and ‘VI: Hip joint condition at heel release on the affected side (hip extension angle)’, have the potentiality for observational evaluation in clinical practice.

Key words: Hip osteoarthritis, Gait abnormality, Observable assessment, Criterion-related validity, Three-dimensional gait analysis

研究論文 (原著)

インソール型荷重モニタリングデバイスを用いたフィードバックが部分荷重の学習に与える効果*

佐藤 秀夏¹⁾ 中野渡達哉^{2) #} 石屋 俊輔³⁾ 神先 秀人⁴⁾

【目的】本研究の目的は、インソール型荷重モニタリングデバイス loadsol[®] (以下、LS) が部分荷重 (以下、PWB) の学習に与える効果を明らかにすることである。【方法】20名を対象に、PWB練習用のフィードバック (以下、FB) としてLSと体重計を設け、クロスオーバー比較試験を行った。各介入でFBありの練習2回、FBなしの評価3回 (Post 1, 2, 3) のプロトコルとした。LSにて荷重データを計測し、体重で除したPeak force (以下、PF) を評価項目とした。【結果】PFの群間差はPost 1で平均差0.07 (95% CI: 0.04–0.10)、Post 2で平均差0.08 (95% CI: 0.03–0.13) の有意差を認めた ($p < 0.05$)。体重計条件のPFではPost 1とPost 3との間に有意差を認めた ($p < 0.01$)。【結論】体重計に比べ、LSによるFBは、少ない練習時間で目標PWBを獲得できることが明らかとなった。

キーワード フィードバック, 部分荷重, 運動学習, インソール

はじめに

部分荷重 (Partial Weight Bearing: 以下、PWB) は、下肢骨折や骨関節疾患における一般的な後療法のひとつで、理学療法における歩行練習などの際に患側下肢に負荷する荷重量の基準としてよく用いられる。PWBの目的は、骨や軟部組織の治癒を適切に導くことやインプラント骨折を減少させることである¹⁾。さらに、早期の全荷重によって骨折部の転位や二次的骨折の可能性がある

患者において、PWBは過度な荷重負荷を避け、安全に下肢荷重を管理する方法として推奨されている²⁾。深部静脈血栓症の出現を予防する方法としてもPWBは有用であり、20 kgのPWBでも全荷重の場合と近似するほどの静脈還流を引き起こすとされる³⁾。

理学療法において、患者のPWBスキル獲得を促す方法として、体重計による荷重量の視覚的フィードバックが用いられることが多い。体重計を用いる方法では、歩行路と体重計との間に段差が生じること、体重計を設置できる台数に限界があることなど、PWBの練習環境として多くの問題を残す。実際に、幾つかの研究において、体重計による視覚化が患者のPWBの遵守性にとって有効であることは示されていない⁴⁻⁶⁾。

我々は、効果的な荷重量のフィードバックを可能とする方法として、インソール型荷重モニタリングデバイス“loadsol[®]” (Novel.de, Munich, Germany) に着目している。loadsol[®]は、足部と靴との間の荷重を計測できる荷重センサを搭載した薄いインソールである (図1)。本機は靴の外に出る平坦なケーブルと、Bluetoothを介してリアルタイムにスマートフォンやタブレット端末へのデータ転送機能を有する小さい電子ボックスのみが付属する。電子ボックス部にあるクリップで靴に固定可能で、装着した者の動作に影響を与えにくい。データは端末機に保存

* The Effectiveness of Feedback using the In-shoe Force Monitoring Device for Partial Weight-bearing Learning

1) 一般財団法人脳神経疾患研究所附属総合南東北病院リハビリテーション科

Shuka Sato, PT: Department of Rehabilitation, Southern Tohoku General Hospital

2) 福島県立医科大学保健科学部理学療法学科
(〒960-8516 福島県福島市栄町10-6)

Tatsuya Nakanowatari, PT, PhD: Department of Physical Therapy, Fukushima Medical University School of Health Sciences

3) 医療法人社団青嶺会 松戸整形外科病院リハビリテーションセンター

Syunsuke Ishiya, PT: Rehabilitation Center, Matsudo Orthopaedic Hospital

4) 福島県立医科大学保健科学部理学療法学科
Hideto Kanzaki, PT, PhD: Department of Physical Therapy, Fukushima Medical University School of Health Sciences

E-mail: nakanowa@fmu.ac.jp

(受付日 2022年8月22日/受理日 2022年11月22日)

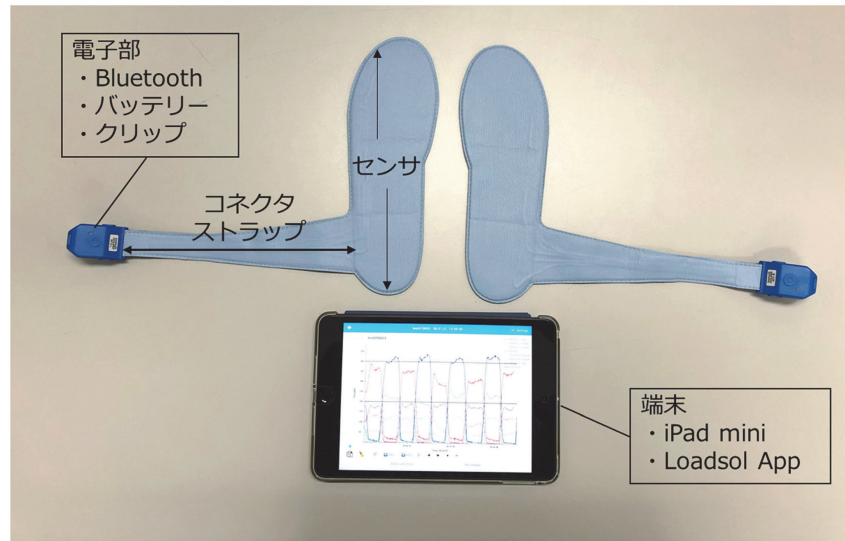


図1 loadsol[®] インソールとサンプルデータを表示した端末機

され、専用のアプリケーションソフトで表示や解析可能で、歩行⁷⁾、走行⁷⁾、ジャンプ動作⁸⁾⁹⁾においてデータの再現性や妥当性が高いことが示されている。loadsol[®]はインソール挿入以外の環境設定が不要で、体重計の速く一時的な針の動きよりも端末機の画面によって視覚的に荷重情報を捉えやすく、PWB練習において有用な手段となる可能性を有していると考えられる。しかし、loadsol[®]を用いたフィードバックによるPWB練習における学習効果は明らかになっておらず、臨床適用前の基礎実験的な検証が必要である。

本研究は、PWB練習における視覚的フィードバックの手段として、loadsol[®]を用いる方が、体重計を用いるよりもPWBスキルを早期に習得し、且つ、保持することができるという仮説に基づく。本研究の目的は、PWB練習におけるloadsol[®]を用いたフィードバックの効果を明らかにすることである。

対象と方法

1. 対象

対象は健康成人20名（年齢 20.6 ± 1.2 歳、うち男性10名、女性10名）とした。参入基準は、20歳以上50歳以下で直近2年以内に松葉杖の使用歴がない健康者とした。除外基準は、運動器疾患の症状がないこと、運動器疾患の治療を受けていないこと、足部の皮膚性疾患がないこと、精神・神経疾患の既往がないこととした。

ヘルシンキ宣言を遵守し、すべての対象者に対して、事前に実験内容について口頭および書面で説明し、自由意志により書面による同意を得た。研究の実施に先立ち、山形県立保健医療大学倫理審査委員会にて承認（承認番

号：2105-03）を得た。

2. 研究デザイン

対象者を2つの介入パターン群（L-C群：前期loadsol→後期control、C-L群：前期control→後期loadsol）にランダムに割り付け、2種類の介入条件（loadsol、control）を入れ替えて実施するクロスオーバーデザインとした（図2）。前期と後期の介入は同日に実施し、介入を入れ替える際には、後述するError-augmentation gait protocol¹⁰⁾に従い3～5分休憩を設け、PWB練習を行う介入側下肢を変更することで、持ち越し効果に対処した。ランダム化は、コンピュータにて算出された乱数表を用い1:1の割り付けで群分けを実施した。利き手と利き足の影響を考慮し、群内でPWB下肢の左右順をランダム化した。対象者、実験担当者は盲検化されず、解析担当者のみ介入条件に関する情報を盲検化された。

3. 介入方法

loadsol条件では、loadsol[®]インソールから転送された荷重情報が表示されたiPad mini（Apple, USA）を介入担当者が把持し、その画面を視覚的フィードバックとして、練習中は常時提示した。荷重情報はloadsol[®]アプリケーション（novel GmbH, Germany）にて、縦軸を荷重量（N）とするリアルタイムの時系列波形（サンプリング周波数100 Hz）で表示された。対象者は、波形のグラフ上に表示された $PWB \pm 50N$ の上下基準線の範囲内に立脚中の荷重が入ることを目標にPWB練習を実施した（図3）。 $PWB \pm 50N$ の範囲は、Fuらの報告⁴⁾のPWB練習で用いられていた許容範囲 $\pm 10lb$ をニュートンに換算し、四捨五入した値より設定した。

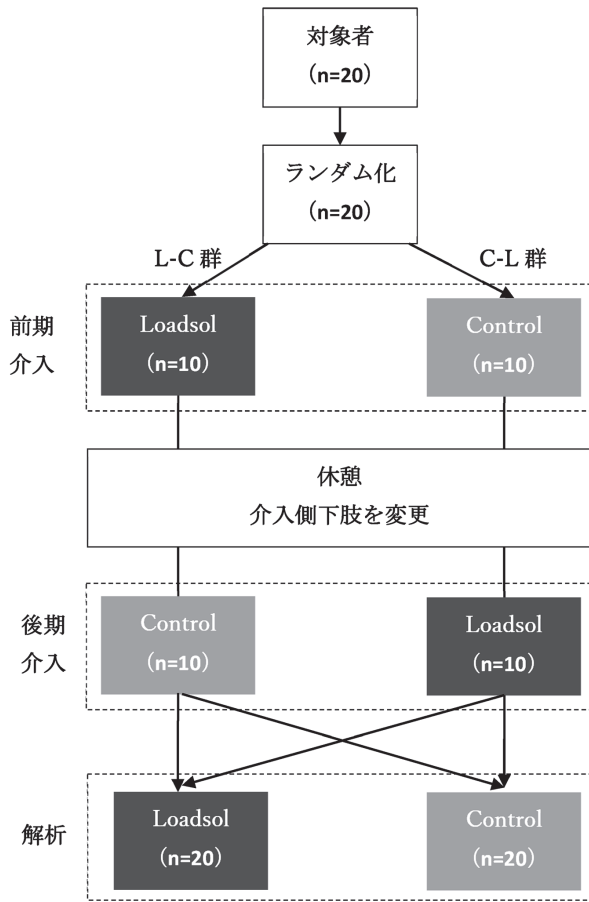


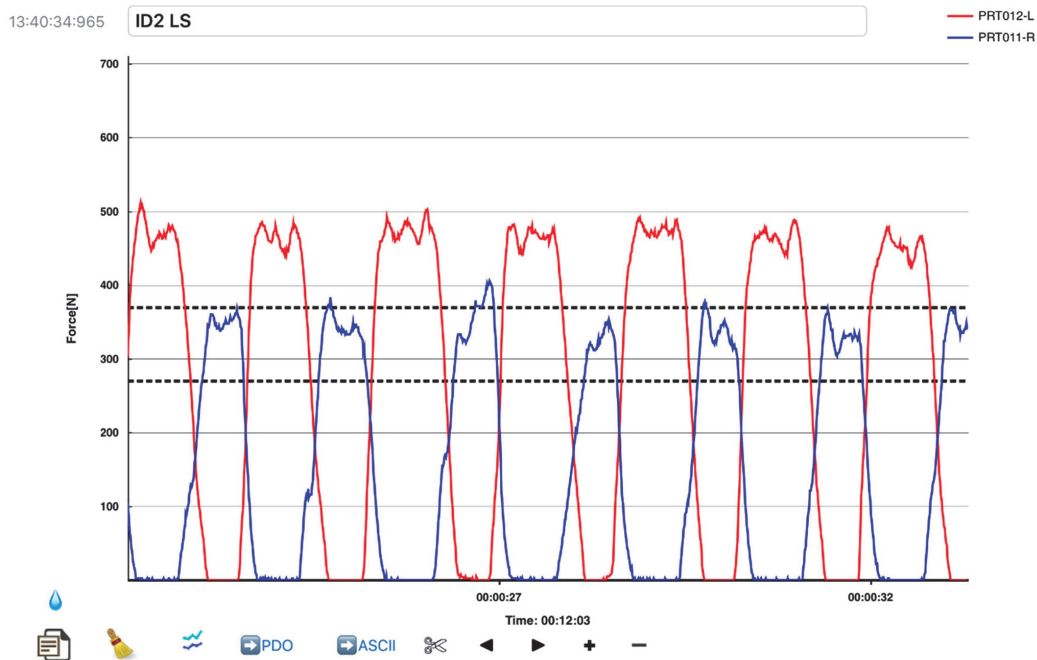
図2 研究フローチャート

control 条件では、アナログ体重計（タニタ社製）4 台を歩行路に 4 m 間隔で設置した。対象者は、床面より 5 cm 高い体重計上に PWB 側足底を乗せ、可動する針が PWB の目盛に重なるように目視で確認しながら PWB 練習を実施した。

4. 実験方法

実験環境として、直線距離 16 m の平地を周回する歩行路を設定した（図 4）。一本の松葉杖を対象者の身体に合うよう調整し、PWB 側下肢の反対側上肢で使用させた。PWB 側の下肢に負荷される荷重上限は体重の 2/3 を基準とし設定した。靴は、対象者の足長に合わせたサイズのリハビリ用シューズを装着させ、介入条件にかかわらず loadsol[®] インソールを挿入し、Force データを収集した（サンプリング周波数 100 Hz）。loadsol[®] インソールのセンサは、歩行前に片脚立位で全荷重を認識させ、足底を浮かせゼロ荷重を認識させる製造メーカー推奨の手順に従い校正した。

実験プロトコルは、ベースライン評価、2 回の PWB 練習、2 回の PWB スキル習得評価、1 回の PWB スキル保持評価を図 5 の通りに構成した。具体的には、まず、松葉杖を使用せず PWB を設定しない状態で 5 分間の通常歩行をベースライン評価 (Pre) として実施した。次に、松葉杖と各介入条件のフィードバックを用い、2/3PWB の荷重感覚を獲得するように 1 回目の歩行練習を 2 分間

図3 loadsol[®] アプリケーションで表示される荷重データ波形の一例

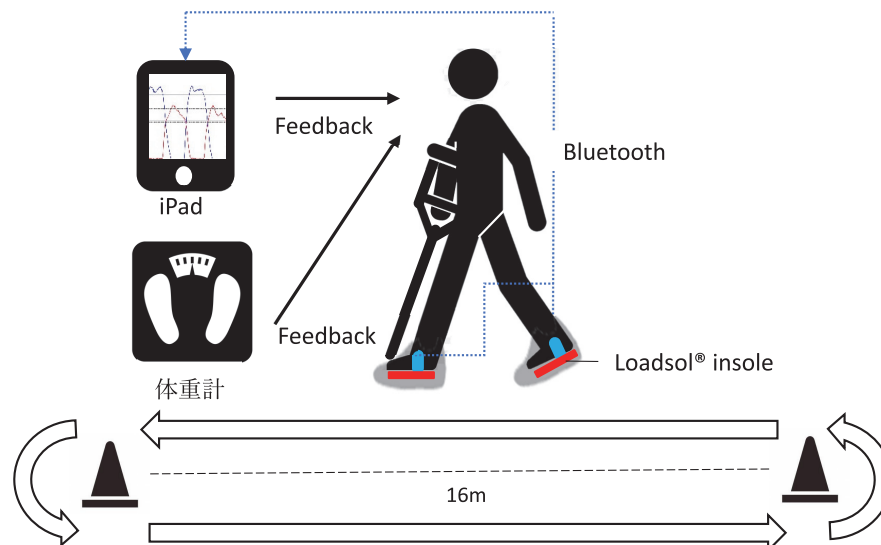


図4 実験環境の模式図

縦軸は荷重量 (N), 横軸は時間を示す時系列波形. 青の実線は右足底荷重, 赤の実線は左足底荷重, 2本の破線は $2/3\text{PWB} \pm 50\text{N}$ に設けた基準線を示す.

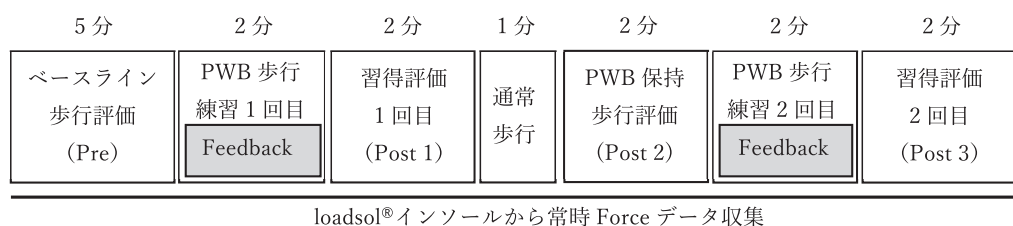


図5 実験手順

PWB; partial weight bearing

実施した。そして、練習 1 回目直後の PWB スキル習得を評価するために、フィードバックのない状態で $2/3\text{PWB}$ を遵守しながらの松葉杖歩行を 2 分間実施した (Post 1)。さらに、PWB スキルの保持をみるために松葉杖を使用せずに 1 分間通常の歩行をさせた後に、フィードバックのない状態で $2/3\text{PWB}$ を遵守しながらの松葉杖歩行を 2 分間実施した (Post 2)。これは学習課題を異なる条件を一時的に設け、その後に学習効果の保持をみる Error-augmentation gait protocol¹⁰⁾ に基づく方法である。続いて、フィードバックを再度用い、 $2/3\text{PWB}$ の荷重感覚を再学習するように 2 回目の歩行練習を 2 分間実施した。最後に、練習 2 回目直後の PWB スキル習得を評価するために、フィードバックのない状態で $2/3\text{PWB}$ を遵守しながらの松葉杖歩行を 2 分間実施した (Post 3)。

なお、対象者には練習と評価すべてにおいて快適速度を保つよう、日常と同様の歩き易い速さで歩行するよう指示した。視覚以外のフィードバックの影響が最小限となるよう、介入担当者からの口頭による PWB に関する情報は提供されなかった。

5. PWB スキルの評価方法

loadsol® インソールより収集された Pre および Post 1 ～ 3 の Force データより、対象者が学習した荷重感覚の指標となる PWB スキルの荷重データを抽出した。抽出には解析ソフトウェア loadpad analysis (novel 社製) を用いた。まず、Pre の 3 分 30 秒～4 分 30 秒の 1 分間、Post 1 ～ 3 の中央 1 分間を解析区間としデータを選択した。各解析区間における全ステップの peak force (以下、PF) を平均化し、その値を対象者の体重で除した PF (体重比) を PWB スキルの習得または保持の主要評価項目とした。

6. 他の評価項目

評価時期 Post 1 ～ 3 の中央 1 分間における直線路歩行中に 10 m の歩行時間と歩数を計測した。歩行時間は距離で除し歩行速度 (m/秒) を算出した。

各介入終了後、PWB 練習に対する主観的困難感 (課題はどれくらい難しかったか)、主観的達成感 (課題はどれくらい達成できたか)、主観的疲労感 (課題によっ

表1 割り付け時の基本情報

	L-C 群 (n=10)	C-L 群 (n=10)	P 値
年齢 (歳)	20.7 ± 1.1	20.5 ± 1.4	0.72
身長 (cm)	163.6 ± 7.0	164.0 ± 8.8	0.91
BMI (kg/m ²)	21.5 ± 2.5	20.0 ± 1.0	0.10
性別			
男性, 女性	4, 6	6, 4	0.40
歩行速度 (m/秒)	1.3 ± 0.2	1.4 ± 0.1	0.11
ベースライン時 PF (体重比)			
右	1.2 ± 0.3	1.3 ± 0.2	0.90
左	1.2 ± 0.2	1.3 ± 0.3	0.76

() 内は単位, 数値は平均±標準偏差または度数を示す.
BMI; body mass index, PF; peak force

てどれくらい疲れたか) について, VAS (Visual Analogue Scale) 法を用い質問紙にて評価した。

7. 統計解析

2つの介入パターン群へのランダム割り付けの妥当性を確認するために, 性別以外の基本属性ならびにベースラインの歩行速度と PF を対応のある t 検定にて, 性別をカイ二乗検定にて 2 群間を比較した。また, 持ち越し効果を確認するために, 線形混合モデルによる分散分析を用い, Post1 の PF に対する介入の順番と介入条件の主効果を調べた。

次に, PF について, 介入条件 (loadsol, control) の要因と, 評価期 (Pre, Post 1, Post 2, Post 3) の要因の有意性を検討するために, 反復測定分散分析を用いて解析した。2つの介入パターン群のうち前期または後期の同じ介入方法で介入条件を定義した。具体的には, 前期 loadsol (10 例) と後期 loadsol (10 例) とで loadsol 条件 (20 例) を, 前期 control (10 例) と後期 control (10 例) とで control 条件 (20 例) を定義した。交互作用を認めた場合は, Bonferroni 法で補正した対応のある t 検定を用いて水準間の差を比較した。歩行速度, 歩数と質問紙による評価結果については, 対応のある t 検定を用いて介入条件間で比較した。解析ソフトウェアには, IBM SPSS Statistics (Version 28, SPSS INC, Chicago, IL, USA) を用い, 有意水準は 5% とした。

結 果

2 群間割り付けの妥当性を確認するために, L-C 群と C-L 群との間の対象者の属性, ベースラインの歩行速度と PF を比較した結果, 2 群間に有意差を認める項目はなかった (表 1)。また, Post1 の PF に対する介入の順

番の主効果は認められず (F 値 = 0.339, $p = 0.568$), 介入条件のみ主効果を認めた (F 値 = 19.509, $p < 0.001$)。

反復測定分散分析の結果, PF において介入条件と評価期に主効果が認められ, 交互作用も認められた (介入条件, $p = 0.02$; 評価期, $p < 0.001$; 交互作用, $p < 0.001$)。各水準間を比較した結果, Post 1 の PF は 2 条件間で平均差 0.07 (95%信頼区間 0.04–0.10, $p < 0.01$), Post 2 の PF は 2 条件間で平均差 0.08 (95%信頼区間 0.03–0.13, $p < 0.05$) の有意差を認めた (図 6)。すべての評価期で loadsol 条件の PF は control 条件に比べ 2/3PWB に近似していた。介入条件別に評価期間を比較した結果, loadsol 条件では有意差を認める期間はなかった。control 条件では Post 1 と Post 3 との間の PF に平均差 0.03 (95%信頼区間 0.01–0.06, $p < 0.01$) の有意差を認め, Post 3 の PF の方が 2/3PWB に近づいていた (図 6)。

介入条件間で副次的評価項目を比較した結果, Post 1 の歩行速度, 主観的困難感, 主観的達成感に有意差を認めた (表 2)。control 条件に比べ, loadsol 条件では Post 1 の歩行速度は速く, 主観的困難感は低く, 主観的達成感が高かった。

考 察

本研究は, PWB スキルの学習における loadsol[®]を用いたフィードバックの効果を明らかにするために, 従来の体重計を用いたフィードバックとインソールを介し荷重情報を表示した iPad によるフィードバックを比較した。評価指標として用いた PF を 2 条件間で比較した結果, 1 回の習得と保持の評価において有意差を認め, loadsol 条件の PF は学習課題とした 2/3PWB に近似していた。本研究の結果は, 下肢骨折や関節疾患の理学療法として一般的な PWB 練習について, loadsol[®]を用い

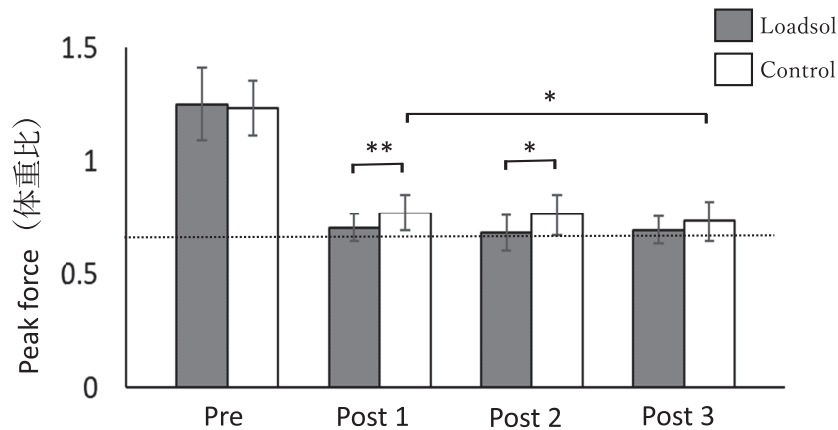


図6 介入条件と評価期ごとの Peak force

灰色のバーは loadsol 条件の peak force, 白色のバーは control 条件の peak force, 横軸は評価期を示す。エラーバーは標準偏差, 点線は peak force の 0.67 (2/3PWB) を示す。

* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$

表2 副次的評価項目の比較

	loadsol (n=20)	control (n=20)	P 値
歩行速度 (m/秒)			
Post 1	0.63 ± 0.15	0.57 ± 0.13	0.03
Post 2	0.64 ± 0.18	0.60 ± 0.17	0.18
Post 3	0.60 ± 0.17	0.58 ± 0.17	0.42
歩数 (歩)			
Post 1	21.3 ± 3.3	22.2 ± 3.0	0.32
Post 2	21.7 ± 4.7	22.5 ± 6.7	0.38
Post 3	22.9 ± 5.9	22.9 ± 5.6	1.00
主観的困難感	4.80 ± 1.51	6.10 ± 1.77	<0.01
主観的達成感	5.95 ± 1.61	4.90 ± 1.55	0.01
主観的疲労感	4.70 ± 1.38	4.95 ± 1.82	0.20

たフィードバックによって PWB スキルの獲得を早める効果があるという点において、先行研究にはない新しい知見を得ることができた。そこで、loadsol[®]を用いたフィードバックの PWB 学習に対する有効性と臨床的意義を考察する。

1. loadsol[®]による PWB スキル早期習得の効果

練習1回目の PWB スキル習得評価 (Post 1) において、loadsol 条件の PF が control 条件よりも有意に低く、2/3PWB に近似していた。この結果は、立位での PWB 練習において同時並行型のフィードバックの方が PWB スキルの早期習得に有効であったことを示した Winstein らの報告¹¹⁾と一致する。つまり、loadsol[®]によってリアルタイムに提示される時系列波形は、体重計の針の一時的なフィードバックよりも同時並行性が高いと言える。さらに、Post 1 の loadsol 条件の歩行速度は control

条件よりも有意に速かったことから、運動パフォーマンスを落とさずに、且つ適切に PWB の調整を遂行できていたと考えられる。したがって、PWB 練習において loadsol[®]によるフィードバックは、従来の体重計による方法に比べ、短時間での適切な PWB スキル習得を可能とする効果があることが示唆される。loadsol[®]を用いることで PWB スキルの獲得が早まることは、長時間の PWB 練習を行うことが難しい易疲労性がある高齢者や集中力の持続が困難な患者にとって有用であると考えられる。

2. loadsol[®]による PWB スキルの短時間保持の効果

PWB スキル保持評価 (Post 2) において、loadsol 条件の PF の方が control 条件よりも有意に低く、2/3PWB に近似していた。この結果は、立位での PWB 練習において施行直後型フィードバックの方が PWB スキルの保持

に有効であったことを示した Winstein らの報告¹¹⁾と一致する。loadsol[®]によって表示された時系列波形は一定時間画面上に残るため、立脚終了後に直近の荷重情報をフィードバックしていることが推測される。一方、体重計は立脚終了後に針が動き直近の荷重情報が残らないため、施行直後のフィードバックを与えられないと考えられる。したがって、PWB 練習において loadsol[®]によるフィードバックは、従来の体重計による方法に比べ、短時間の PWB スキル保持を可能とする効果があることが示唆される。しかしながら、より長い時間を置いた後の PWB スキルの保持については今後さらなる検討が必要である。

3. 臨床的意義

PWB 練習において loadsol[®]によるフィードバックが PWB スキルの早期獲得と保持を達成できたことは、課題特異的な練習の反復による運動学習強化の原理¹²⁾¹³⁾と一貫性がある。loadsol[®]をフィードバックの方法として適用する臨床的意義は、PWB スキルを少ない練習時間で習得できる点と目標とする荷重量を適切に習得できる点の2つある。1つ目の少ない練習時間で習得できる点は、易疲労性がある高齢者や集中力の持続が困難な患者に対する PWB 練習において有用性があると考えられる。これは、loadsol 条件の方が Post 1 で目標 2/3PWB に近似する PF を示した結果と、control 条件の Post 3 の PF が Post1 より目標 2/3PWB に近づき、且つ、loadsol 条件と差を認めなかった結果に基づく。Control 条件でみられた Post 1 と Post 3 との間の PF 平均差 0.03 は、本研究と同じ条件で臨床における 2 分間の PWB 練習を行った場合にも推定される改善量と仮定することができる。介入条件間でみられた PF 平均差 0.07 ~ 0.08 は、control 条件での 2 分間の PWB 練習で推定される改善量 0.03 よりも大きい点で臨床的に意味のある差であると考えられる。つまり、約 4 分間の control 条件での PWB 練習を行うよりも、2 分間 loadsol 条件で PWB 練習を行う方が効率的に PWB スキルを学習できることが示唆される。さらに主観的困難感は低く、主観的達成感が高いことから、対象者への精神的負荷も少ないメリットがあることが示唆される。したがって、loadsol[®]による PWB スキルの早期習得と保持の効果は、介入条件間の小さい PF 平均差に基づく長い時間の PWB 練習が可能な患者に対して有用であるかどうかについては議論の余地があるものの、易疲労性がある高齢者や集中力の持続が困難な患者に対する PWB 練習においては有用であると期待される。しかしながら、わずかな荷重負荷量の違いや練習時間が数分短くなることで、PWB での歩行獲得を早めるかど

うかや、骨や軟部組織の治癒促進に有効であるかどうかについては、本機器の費用対効果も含め検討していく必要があると考えられる。

2つ目の臨床的意義である目標とする荷重量を適切に習得できる点は、本研究結果の全評価期の PF でみられた loadsol 条件の方が目標 2/3PWB に近似し、control 条件の方が目標 2/3PWB より過荷重であった結果に基づく。したがって、過度な荷重負荷によって骨折部の転位や二次的骨折の危険性がある患者において、loadsol[®]によるフィードバックを用いた方が、適切な荷重管理が可能となると考えられる。近年、loadsol[®]を患者に貸し出し、日常生活の荷重をモニターし、フィードバックするプログラムも開発されている¹⁴⁾。先行研究⁴⁻⁶⁾において、PWB の遵守性に対する有効性が認められていない体重計に比べ、移動性とモニター機能を有する点で loadsol[®]を用いる利点があると考えられる。

4. 研究の限界

本研究は5つの限界を有する。1つ目の限界は、control 条件と loadsol 条件との間には、フィードバックの手段以外に体重計の段差によって下肢の肢位や松葉杖の使いやすさなどに違いがあるため、それらが PWB 学習に影響を及ぼしていることを否定できない点である。したがって、段差を解消した平坦な歩行路で体重計を用いたフィードバックを用いた場合には、本研究で用いた control 条件の結果とは異なる可能性がある。2つ目は、本研究で用いた loadsol[®]インソールセンサの校正は PWB 側下肢にも全荷重を負荷することとなるため、実際に PWB を獲得すべき患者には適用することができない。本機はそのような患者用に許可されている部分荷重と反対側の全荷重から設定可能な両脚立位での校正方法を備えているため、今後はその手順でも検証する必要がある。3つ目は、本研究の課題とした 2/3PWB 以外の 1/3 や 1/2 などの他の PWB では課題の難易度が異なるため、本研究の結果をすべての PWB 課題に一般化することが難しい点である。PWB を設けられる患者は、1/3、1/2、2/3 などの順で段階的に PWB スキルを獲得することがほとんどであるため、今後は他の PWB 課題での検証が必要である。4つ目は、研究結果にプラセボ効果などの割り付け情報のバイアスが含まれないようにするために被検者、介入担当者、評価者、解析者に対する盲検化を本研究では行っていないことである。フィードバックの介入方法を盲検化することは現実的に困難ではあるものの、本研究結果には情報バイアスの影響が含まれていることを考慮する必要がある。5つ目は、本研究の対象は医療系大学生と大学院生のみであるため、過去2年以内の松

葉杖使用歴がある者は含まれないものの、一般的な患者に比べ、本研究対象者の PWB 課題や松葉杖に関する知識とスキルは高いと推測される。したがって、本研究対象者は一般的な患者よりもの PWB スキル獲得までの時間が早く、研究結果には集団特性バイアスの影響を含んでいる可能性がある。そのため、医療的な専門知識を有しない一般の患者ではどちらの介入条件においても PWB スキルの獲得に時間を要する可能性があることを考慮する必要がある。

結 論

PWB 練習における loadsol[®] を用いたフィードバックは、歩行における PWB スキルの早期習得と短時間の保持に有効であることが明らかとなった。

利 益 相 反

本研究に関連した開示すべき利益相反はない。

謝 辞

本研究は JSPS 科研費 20K19381 の助成を受け実施した。

文 献

- 1) Hol AM, van Grinsven S, Lucas C, et al.: Partial versus unrestricted weight bearing after an uncemented femoral stem in total hip arthroplasty: recommendation of a concise rehabilitation protocol from a systematic review of the literature. Arch Orthop Trauma Surg 2010; 130: 547–555.

- 2) Augat P, Merk J, Ignatius A, et al.: Early, full weightbearing with flexible fixation delays fracture healing. Clin Orthop Relat Res 1996; 194–202.
- 3) Eisele R, Weickert E, Eren A, et al.: The effect of partial and full weight-bearing on venous return in the lower limb. J Bone Joint Surg Br 2001; 83: 1037–1040.
- 4) Fu MC, DeLuke L, Buerba RA, et al.: Haptic biofeedback for improving compliance with lower-extremity partial weight bearing. Orthopedics 2014; 37: e993–e998.
- 5) Hustedt JW, Blizzard DJ, Baumgaertner MR, et al.: Effect of age on partial weight-bearing training. Orthopedics 2012; 35: e1061–e1067.
- 6) Hustedt JW, Blizzard DJ, Baumgaertner MR, et al.: Is it possible to train patients to limit weight bearing on a lower extremity? Orthopedics 2012; 35: e31–e37.
- 7) Renner KE, Williams DSB, Queen RM: The Reliability and Validity of the Loadsol[®] under Various Walking and Running Conditions. Sensors (Basel) 2019; 19: 265.
- 8) Peebles AT, Maguire LA, Renner KE, et al.: Validity and Repeatability of Single-Sensor Loadsol Insoles during Landing. Sensors (Basel) 2018; 18: 4082.
- 9) Peebles AT, Ford KR, Taylor JB, et al.: Using force sensing insoles to predict kinetic knee symmetry during a stop jump. J Biomech 2019; 95: 109293.
- 10) Kline PW, Murray AM, Miller MJ, et al.: Step length symmetry adaptation to split-belt treadmill walking after acquired non-traumatic transtibial amputation. Gait Posture 2020; 80: 162–167.
- 11) Winstein CJ, Pohl PS, Cardinale C, et al.: Learning a partial-weight-bearing skill: effectiveness of two forms of feedback. Phys Ther 1996; 76: 985–993.
- 12) Kleim JA, Jones TA: Principles of experience-dependent neural plasticity: implications for rehabilitation after brain damage. J Speech Lang Hear Res 2008; 51: S225–S239.
- 13) Yang JF, Musselman KE, Livingstone D, et al.: Repetitive mass practice or focused precise practice for retraining walking after incomplete spinal cord injury? A pilot randomized clinical trial. Neurorehabil Neural Repair 2014; 28: 314–324.
- 14) Bade MJ, Christensen JC, Zeni JA, et al.: Movement pattern biofeedback training after total knee arthroplasty: Randomized clinical trial protocol. Contemp Clin Trials 2020; 91: 105973.

The Effectiveness of Feedback using the In-shoe Force Monitoring Device for Partial Weight-bearing Leaning

Shuka Sato¹⁾, Tatsuya Nakanowatari²⁾, Syunsuke Ishiya³⁾, Hideto Kanzaki⁴⁾

¹⁾ Department of Rehabilitation, Southern Tohoku General Hospital

²⁾ Department of Physical Therapy, Fukushima Medical University School of Health Sciences

³⁾ Rehabilitation Center, Matsudo Orthopaedic Hospital

⁴⁾ Department of Physical Therapy, Fukushima Medical University School of Health Sciences

Objective: To clarify the effect of feedback using an insole-type load-monitoring device (loadsol[®]) on partial weight-bearing (PWB) practice compared with biofeedback using a conventional device.

Methods: The subjects were 20 healthy adults (10 female, 10 male; age: 20.6 ± 1.2). The study design was a randomized, crossover trial. The intervention group received visual feedback (FB) from an iPad mini screen that concurrently displayed the weight-bearing information from the loadsol[®] insoles. The control group received visual FB from an analog scale. The protocol of two-thirds of PWB walking using a crutch consisted of two practice sessions with FB and three measurement sessions without FB. The outcome measure was set as the average peak force (Avg. Pf) in each measurement session.

Results: The Avg. Pf was significantly lower in the intervention group than in the control group in the immediate measurement after the first practice and after the interval ($p < 0.05$). The Avg. Pf in the intervention group approximated the target PWB.

Conclusion: The results suggest that the loadsol[®] can provide concurrent and trial-immediate FB. FB using the loadsol[®] was effective for early acquisition and retention when learning PWB. The FB using the loadsol[®] may be clinically useful for learning PWB.

Key words: Feedback, Partial weight-bearing, Motor learning, Insole

短 報

健常高齢女性の歩行時における腕振り角度, および 腕振り非対称性と脊柱回旋との関連*

加藤 浩^{1) #} 石川 仁¹⁾ 南澤 忠儀¹⁾
藤田 努²⁾ 岡澤 和哉²⁾ 奈須 勇樹²⁾

【目的】 健常高齢女性における自然歩行時の左右腕振り角度, および腕振り角度の非対称性と脊柱回旋角度の関連について検討した。【方法】 対象は健常高齢女性 10 名とした。モーションセンサーを用いて, 左右上腕外側上顆部 (L_arm, R_arm) の矢状面回転角度, 第 7 胸椎棘突起部 (T7), 第 3 腰椎棘突起部 (L3), 第 2 仙椎棘突起部 (S2) の水平面回旋角度を測定し, 左右腕振り角度の差, 各脊椎間の回旋角度の差を比較, さらに, 脊柱回旋角度と左右腕振り角度・腕振り角度の非対称性指数 (ASI) との相関分析を行った。【結果】 左腕振り角度は, 右側と比べ有意に高値を示した。脊柱との関連性では, T7 の回旋角度と L_arm の角度の間で負の相関を認め, 逆に ASI の間で有意な正の相関を認めた。【結論】 自然歩行時における腕振り角度には左右差が存在し, 腕振りは胸椎部回旋による受動的要素は小さく, 左右腕振りの非対称性は他の多くの要因が関与している。

キーワード 自然歩行, 脊柱回旋角度, 腕振り角度, 非対称性, モーションセンサー

はじめに

高齢者の非対称性歩行は, 転倒リスクを高めると言われている¹⁾²⁾。歩行時の非対称性を示す因子はステップ長, ステップ時間, 腕振り角度, 体幹の回旋角度等, 多岐にわたる。特に腕振りに関しては, 歩行の推進力としての機能はそれほど大きくない³⁾が, 歩行時の安定性に寄与することが報告されている⁴⁾⁵⁾。また, 水平面上での上部と下部体幹の逆回旋運動による角運動量の相殺⁶⁾や, 床反力の鉛直成分を減少させる等, 歩行時のエネルギー消費を最小限に抑える効果があるとされている⁷⁾。

これらのことから, 腕振りは歩行時のバランス制御やエネルギー消費の効率化に関与していると考えられている。

この腕振りに関して, 脳卒中患者⁸⁾やパーキンソン病患者⁹⁾を対象とした多くの非対称性に関する研究報告がある。その一方で, 健常者の左右腕振り角度に非対称性があることも報告¹⁰⁾されている。しかし, 高齢健常者を対象とした左右腕振り角度の非対称性の程度を客観的に定量化した先行研究は少ない。さらに, 脊柱の回旋運動が腕振りの一要因として関与していることは間違いないが, 自然歩行における腕振りの非対称性と脊柱の上部, 中部, 下部での回旋角度との関連について検討された研究は我々が渉猟した限りない。

そこで, 本研究の目的は, 高齢健常者を対象に歩行時の左右腕振り角度, および腕振り角度の非対称性と胸椎部, 腰椎部, 仙椎部の回旋角度との関連について検討することとした。

対象と方法

1. 対象

対象は過去に運動器の手術歴がなく, 現在, 精神・神

* Relationship between Arm Swing Amplitude and Asymmetry and Spinal Rotation of Gait in Healthy Elderly Females

1) 山形県立保健医療大学大学院
(〒990-2212 山形県山形市上柳 260 番地)
Hirosaki Kato, PT, PhD, Hitoshi Ishikawa, MD, PhD, Tadayoshi Minamisawa, PT, PhD: Graduate School, Yamagata Prefectural University of Health Sciences

2) 九州大学病院リハビリテーション部
Tsutomu Fujita, PT, MHS, Kazuya Okazawa, PT, MHS, Yuki Nasu, PT, MHS: Department of Rehabilitation, Kyushu University Hospital

E-mail: hkatosbjpt@gmail.com

(受付日 2022 年 6 月 14 日/受理日 2022 年 8 月 15 日)

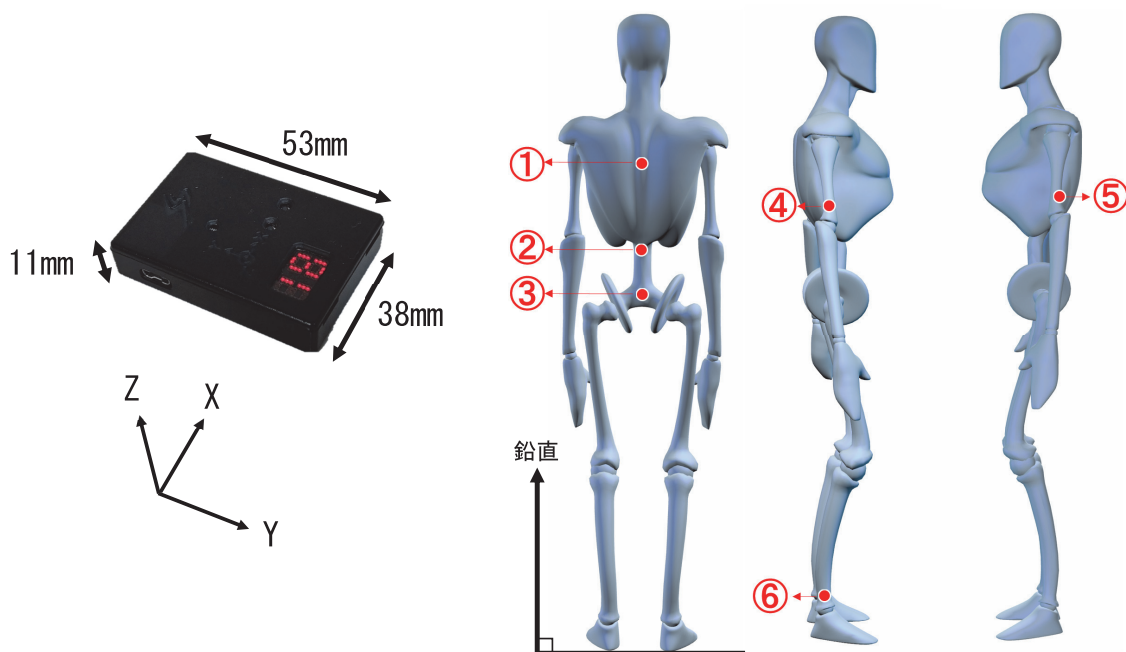


図1 センサーと貼付位置

図左：使用したセンサーは、3軸加速度（16 G）、2軸加速度（200 G）および3軸ジャイロの計8軸センサーを搭載しており、センサーの軸は図に示す通りである。

図右：センサー貼付位置。センサーはXY平面が体表に接するよう貼付した。①第7胸椎棘突起部、②第3腰椎棘突起部、③第2仙椎棘突起部、④右上腕外側上顆、⑤左上腕外側上顆、⑥右足部外果

経疾患および整形外科疾患で医療機関の治療を受けておらず、かつ、杖や歩行支援用具を使用せず独歩が可能な60歳台の女性10名（平均年齢：66.2 ± 2.0歳，平均身長：153.5 ± 5.2 cm，平均体重：56.5 ± 6.3 kg，平均BMI：24.0 ± 2.8 kg/m²，利き手：右）とした。除外基準は，コントロール不良の高血圧，重篤な心疾患，先天性疾患の既往があり左右下肢脚長差がある者とした。本研究は山形県立保健医療大学倫理委員会で承認（承認番号 2010-11）を受け，すべての対象者に研究内容を文書で説明し同意を得て実施した。

2. 方法

計測課題は，拘束条件を課さない屋内での自然歩行とし，歩行速度関連因子と運動学的因子のデータを計測した。

1) 歩行速度関連因子の計測

歩行速度関連因子は，歩行速度，ステップ長，ケイデンスとした。先行研究を参考^{11) 12)}に10 mの歩行路を設定し練習後に自然歩行を3回実施した。解析区間は歩行開始の加速区間と終了の減速区間の各2.5 mを除く5 mとした。歩行速度は5 m歩行時間をストップウォッチで測定した¹³⁾。歩数は目視にてカウントし，歩数と5 m歩行時間からステップ長とケイデンスを算出し，3回の歩行時の値を加算平均した。

2) 運動学的因子の計測

運動学的因子は，腕振り角度と脊柱の回旋角度とした。計測には無線式8軸モーションセンサー SS-MS-HMA16G15A200YZ（スポーツセンシング社製）を6個（寸法：38 mm（W）× 53 mm（D）× 11 mm（H），重量：24 g）使用した。8軸モーションセンサー（以下，センサー）の貼付位置は，第7胸椎棘突起部（以下，T7），第3腰椎棘突起部（以下，L3），第2仙椎棘突起部（以下，S2），右上腕外側上顆（以下，R_arm），左上腕外側上顆（以下，L_arm），右足部外果（以下，R_ank）とし，センサー内のY軸を鉛直軸に合わせて伸縮バンドで固定した（図1）。各センサーのY軸は，安静立位時の加速度が重力加速度の1 Gに近くなるよう調整して貼付した。X軸，Z軸は対象者の両側の肩峰を結ぶ線と両側の肩峰を結ぶ線への垂直線に一致するよう調整して貼付した。

サンプリング周波数は200 Hzとし，40 Hzのローパスフィルター（Butterworth filter）を使用しノイズ処理を行った。計測パラメータは，3軸加速度，3軸角速度とし，6軸の計測データからQuaternion（四元数）を算出し，センサー貼付位置の角度を推定した。次にT7，L3，S2のセンサー内のY軸周り回転角度は，胸椎，腰椎，骨盤の回旋角度と定義し，1歩行周期での最大回旋角度変化量を算出した。L・R_armのセンサー内のZ軸回り回転角度は，左右の腕振り角度と定義し，1歩行周期での最大

回転角度変化量を算出した。1歩行周期の検出は、先行研究に従い L3 の Z 軸方向の加速度を使用し初期接地時期を同定した¹⁴⁾。左右下肢の初期接地の区別は、R_ank の Y 軸方向の加速度で確認した。次に 1 歩行周期の左右腕振り角度、および脊柱の回旋角度データを時間軸で正規化し、3 歩行周期分の角度データを加算平均した。左右腕振り角度の非対称性の評価には、Herzog ら¹⁵⁾ の計算式を用いて非対称性指数 (asymmetry index: 以下, ASI) を算出した (図 2)。

3. 統計解析

統計解析には、SPSS Statistics 23 (日本 IBM 社製) を使用し、データの正規性を Shapiro-Wilk 検定を用いて確認した後、左右腕振り角度の比較には一標本 t 検定を用

$$ASI = \frac{(X_R - X_L)}{1/2(X_R + X_L)} * 100$$

図 2 非対称性指数

X_R: R_arm の Z 軸周りの角度, X_L: L_arm の Z 軸周りの角度を示す。

いた。各脊椎間での回旋角度の比較には Tukey の HSD 法を用いた。両検定共に平均差の 95% 信頼区間と効果量 (r) も算出した。また、脊柱回旋角度と左右腕振り角度・ASI との関連性の検討には、Pearson の積率相関係数を用いた。有意水準は 5% とした。

結 果

1. 歩行速度関連因子

平均歩行速度、平均ステップ長、平均ケイデンスは、それぞれ 1.3 ± 0.1 m/s, 0.59 ± 0.1 m, 137.4 ± 4.9 steps/min であった。

2. 左右腕振り角度・ASI と脊柱回旋角度

左腕振り角度は、右側と比べ有意に高値を示し、平均 ASI は 25.0 ± 18.3% であった。脊柱回旋角度は、S2, L3, T7 の順で有意に高値を示した (表 1)。

3. 脊柱回旋角度と左右腕振り角度・ASI との関連

T7 回旋角度と左腕振り角度の間で有意な負の相関を認め、T7 回旋角度と ASI の間で有意な正の相関を認めた (表 2)。

表 1 左右腕振り角度・ASI と脊柱回旋角度

センサー	角度 (deg)	ASI (%)			
R_arm	39.8 ± 10.1	25.0 ± 18.3			
L_arm	49.4 ± 6.4				
T7	4.3 ± 2.6				
L3	11.3 ± 4.7				
S2	17.8 ± 4.1				
比較					
センサー	センサー	平均差	95%CI	p 値	効果量
R_arm	- L_arm	-10.5	-14.5, -6.5	p < 0.001	0.87
T7	- L3	-6.6	-12.1, -1.2	0.018	0.77
T7	- S2	-13.9	-18.6, -9.3	p < 0.001	0.95
L3	- S2	-7.3	-11.7, -2.9	0.003	0.85

平均値 ± 標準偏差

95%CI (平均差の 95% 信頼区間)

効果量 (r)

表 2 脊柱回旋角度と左右腕振り角度・ASI との関連

変数	R_arm	L_arm	ASI
T7	-0.41	-0.70 *	0.82 *
L3	-0.11	-0.10	-0.10
S2	-0.27	0.09	-0.27

Pearson's correlation coefficient

*: p<0.01

考 察

歩行関連因子に関しては、日本の65～69歳の健康女性の歩行スピード、ステップ長、ケイデンスは、それぞれ約1.0 m/s, 0.54 m, 111.2 steps/minと報告¹⁶⁾されており、本研究結果は、すべての因子で高値傾向を示した。このことから、計測課題としては普通の歩き方で歩くよう指示したが、実際は同年代女性の自然歩行よりも若干、早足での歩行であった可能性が考えられた。しかし、歩行速度の標準偏差は±0.1と低値であることから、今回の対象者間での歩行速度のばらつきの影響は小さいと考えられた。

本研究では、左右腕振り角度の平均差は-10.5度(95% CI: -14.5～-6.5度)であり、左腕振り角度が右側に比べて有意に高値を示した。また、効果量(r)は0.87であり、効果の大きさの目安とされるLarge(0.5)以上であることから、本研究における歩行時の腕振り角度の左右差の程度は大きいと考えられた。これに関連する先行研究では、Mirelman¹⁷⁾は、平均年齢64.6歳の高齢健康者14名を対象に調査した結果、左右腕振り角度は、左側が43.8度、右側が35.7度であり、対象者の86%は右利きであったと報告している。本研究でも対象者の利き手は、全例右利きであったことから、腕振り角度の非対称性には、利き手の要因が影響している可能性が考えられた。しかし、Kuhtz-Buschbeck¹⁰⁾は、利き手と腕振りの非対称性の関係について検討した結果、利き手と左右腕振り角度の非対称性に関係性は認めず、左腕振り角度が有意に高値であったとしている。しかし、この研究にはトレッドミルが用いられており、速度が規定され、自動的に動くベルト上での歩行は、ある意味受動的動作であり平地歩行とは条件が異なる。これに関連した平地歩行とトレッドミル歩行を同一速度で比較した先行研究では、時間・距離因子¹⁸⁾、運動学的因子¹⁹⁾、運動力学的因子²⁰⁾で有意な差が報告されている。以上のことから、トレッドミル歩行と平地での自然歩行は運動制御方法が異なる可能性も考えられた。また、非対称性の程度を示すASIは25.0%であった。非対称性に関する指標は多数あるが、Herzog¹⁵⁾やVagenas²¹⁾の計算式では、非対称性が33.3%の時、左右差はHerzogらの式で1.4倍、Vagenasらの式で1.5倍となる。Plate²²⁾はVagenasらの式を用いて非対称性を検討し、歩行速度3 km/hでは32.7%、4 km/hでは27.9%であったと報告している。HerzogらとVagenasらの式を用いた他の研究報告をみても、非対称性は30%以下のものが多く¹⁰⁾²³⁾、自然歩行における健康高齢女性の生理的な腕振り角度の左右差は、およそ1.5倍程度以内にあると考えられた。

次に各椎体間の回旋角度の比較では、S2(17.8±4.1度)、L3(11.3±4.7度)、T7(4.3±2.6度)の順に回旋角度が有意に高値を示した。また、各椎体間の平均差の効果量(r)もすべて0.5以上であることから、各椎体間の回旋角度差の程度は大きいと考えられた。健康者を対象とした自然歩行時における体幹回旋角度に関する先行研究として、Murray²⁴⁾は、胸部回旋は6.8度、骨盤回旋は11.5度であったと報告している。また、MacWilliams²⁵⁾は、第1腰椎から第1仙椎までピンを直接挿入しin vivoでの計測を行った結果、第1腰椎と胸部(第7頸椎棘突起レベル)の相対的回旋角度は8.9度、第1腰椎から第1仙椎までの各椎体間の回旋角度の累計は、11.0度であったとしている。歩行動作では、体幹の過度な回旋を相殺するため、骨盤と胸部は位相をずらしながら逆方向へ回旋する⁶⁾ことや、頭部の安定性を保つために骨盤から体幹上部へかけて、身体に作用する加速度や角速度は減少することが報告されている²⁶⁾²⁷⁾。本研究では、位相のずれや角速度の検討はしていないが、少なくともT7では、L3とS2に比べ回旋角度は小さくなっていることが示された。これは姿勢制御システムの1つとして、頭部の安定性と歩行動作の直進性を確保するために、第7胸椎の水平面上での動きは制動されている可能性が示唆された。

脊柱回旋角度と腕振り角度の関連性に関しては、両者に有意な正の相関は認めなかった。これに関連した先行研究では、歩行速度を速くするとステップ長が増し、腰椎の回旋角速度は上昇し、腕振り角度は増大するという報告がある¹⁷⁾。別の研究では胸椎部の回旋角度は、歩行速度の影響をあまり受けないという報告もある²⁸⁾。一方で、意識的に腕を大きく振って歩くと、体幹の水平面の角運動量は増大するという報告や、体幹の安定性が高まるという報告がある²⁹⁾³⁰⁾。腕振りが体幹の回旋運動のみで受動的におきているのか、それ以外の要因で能動的におきているのかについては、統一の見解は得られていない³¹⁻³⁵⁾が、受動的要因が大きいと仮定すれば、少なくとも自然歩行時の右腕振り角度と脊柱回旋角度との関連性は小さいと考えられた。左腕振り角度との関連性に関しては、T7の間で有意な負の相関を認めた。この結果は、左腕振り角度が大きいほど、T7の回旋角度が小さくなることを意味している。一方、ASIとT7の間で有意な正の相関を認めた。歩行動作は、Spinal Engine理論³⁶⁾に基づき体幹の回旋運動を介して、下肢と上肢の効率的なエネルギーの授受が行われているとされている。しかし、胸椎部と骨盤の回旋角度は個人差が大きいことも報告されている²⁴⁾。これらのことを考慮すれば、頭部安定性と直進性を確保するために、胸椎部の回旋角

度が制動された場合、能動的に左腕振り角度を大きくすることで体幹全体の角運動量を補完している可能性がある。これに関連して、Glasauer ら³⁷⁾ は、歩行時の頭部の運動は体幹の運動を相殺するように逆方向に生じるとしており、胸椎部の制動は頭部の運動を小さくする効果があると考えられた。以上のことから、左側を有意とする腕振りの非対称性は、体幹や他肢の運動状態に合わせて、全身の角運動量を調整するように機能している可能性が示唆された。

本研究の限界は、腕振り角度は、主に肩関節と体幹の運動の影響が含まれており、これらの影響を分離して検討できていないことであり今後の課題である。

結 論

健康高齢女性における自然歩行時の左右腕振り角度、および腕振り角度の非対称性と脊柱回旋角度の関連について検討した。その結果、左右腕振り角度は、左側で有意に高値を示し差の程度も大きかった。また、脊柱回旋角度と左右腕振り角度の関連性では、胸椎部の回旋角度と左腕振り角度の間で負の相関を認め、逆に ASI の間で有意な正の相関を認めた。以上のことから、自然歩行時における腕振り角度には左右差が存在し、腕振りは胸椎部の回旋による受動的要素は小さく、左右腕振りの非対称性は他の多くの要因の関与により生じていることが考えられた。

本研究の一部は、令和 2 年度山形県立保健医療大学共同研究費の採択を得て実施した。

利 益 相 反

本研究において開示すべき利益相反はない。

文 献

- 1) Bautmans I, Jansen B, Keymolen BV, et al.: Reliability and clinical correlates of 3D-accelerometry based gait analysis outcomes according to age and fall-risk. *Gait Posture* 2011; 33: 366–372.
- 2) LaRoche DP, Cook SB, Mackala K: Strength asymmetry increases gait asymmetry and variability in older women. *Med Sci Sports Exerc* 2012; 44: 2172–2181.
- 3) Willems PA, Cavagna GA, Heglund NC: External, internal and total work in human locomotion. *J Exp Biol* 1995; 198: 379–393.
- 4) Ortega JD, Fehlman LA, Farley CT: Effects of aging and arm swing on the metabolic cost of stability in human walking. *J Biomech* 2008; 41: 3303–3308.
- 5) Bruijn SM, Meijer OG, van Dieën JH: The effects of arm swing on human gait stability. *J Exp Biol* 2010; 213: 3945–3952.
- 6) Bruijn SM, Meijer OG, van Dieën JH, et al.: Coordination of leg swing, thorax rotations, and pelvis rotations during gait: the organisation of total body angular momentum. *Gait Posture* 2008; 27: 455–462.
- 7) Li Y, Wang W, Crompton RH, et al.: Free vertical moments and transverse forces in human walking and their role in relation to arm-swing. *J Exp Biol* 2001; 204: 47–58.
- 8) Ford MP, Wagenaar RC, Newell KM: Phase manipulation and walking in stroke. *J Neurol Phys Ther* 2007; 31: 85–91.
- 9) Koh SB, Park YM, Kim MJ, et al.: Influences of elbow, shoulder, trunk motion and temporospatial parameters on arm swing asymmetry of Parkinson's disease during walking. *Hum Mov Sci* 2019; 68: 102527.
- 10) Kuitz-Buschbeck JP, Brockmann K, Gilster R, et al.: Asymmetry of arm-swing not related to handedness. *Gait Posture* 2008; 27: 447–454.
- 11) Lindemann U, Najafi B, Zijlstra W, et al.: Distance to achieve steady state walking speed in frail elderly persons. *Gait Posture* 2008; 27: 91–96.
- 12) Halliday SE, Winter DA, Frank JS, et al.: The initiation of gait in young, elderly, and Parkinson's disease subjects. *Gait Posture* 1998; 8: 8–14.
- 13) Shimada H, Makizako H, Lee S, et al.: Impact of cognitive frailty on daily activities in older persons. *J Nutr Health Aging* 2016; 20: 729–735.
- 14) Zijlstra W, Hof AL: Assessment of spatio-temporal gait parameters from trunk accelerations during human walking. *Gait Posture* 2003; 18: 1–10.
- 15) Herzog W, Nigg BM, Read LJ, et al.: Asymmetries in ground reaction force patterns in normal human gait. *Med Sci Sports Exerc* 1989; 21: 110–114.
- 16) Oberg T, Karsznia A, Oberg K, et al.: Basic gait parameters: reference data for normal subjects, 10–79 years of age. *J Rehabil Res Dev* 1993; 30: 210–223.
- 17) Mirelman A, Bernad-Elazari H, Nobel T, et al.: Effects of aging on arm swing during gait: the role of gait speed and dual tasking. *PLoS One* 2015; 10: e0136043.
- 18) Watt JR, Franz JR, Jackson K, et al.: A three-dimensional kinematic and kinetic comparison of overground and treadmill walking in healthy elderly subjects. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2010; 25: 444–449.
- 19) Alton F, Baldey L, Caplan S, et al.: A kinematic comparison of overground and treadmill walking. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 1998; 13: 434–440.
- 20) White SC, Yack HJ, Tucker CA, et al.: Comparison of vertical ground reaction forces during overground and treadmill walking. *Med Sci Sports Exerc* 1998; 30: 1537–1542.
- 21) Vagenas G, Hoshizaki B: A multivariable analysis of lower extremity kinematic asymmetry in running. *Int J Sport Biomech* 1992; 8: 11–29.
- 22) Plate A, Sedunko D, Pelykh O, et al.: Normative data for arm swing asymmetry: how (a)symmetrical are we? *Gait Posture* 2015; 41: 13–18.
- 23) Roggendorf J, Chen S, Baudrexel S, et al.: Arm swing asymmetry in Parkinson's disease measured with ultrasound based motion analysis during treadmill gait. *Gait Posture* 2012; 35: 116–120.
- 24) Murray MP: Gait as a total pattern of movement. *Am J Phys Med* 1967; 46: 290–333.
- 25) MacWilliams BA, Rozumalski A, Swanson AN, et al.: Assessment of three-dimensional lumbar spine vertebral motion during gait with use of indwelling bone pins. *J Bone Joint Surg Am* 2013; 95: e1841–e1848.
- 26) Kavanagh J, Barrett R, Morrison S: The role of the neck and

- trunk in facilitating head stability during walking. *Exp Brain Res* 2006; 172: 454–463.
- 27) Cromwell RL, Newton RA, Carlton LG, et al.: Horizontal plane head stabilization during locomotor tasks. *J Mot Behav* 2001; 33: 49–58.
- 28) Huang Y, Meijer OG, Lin J, et al.: The effects of stride length and stride frequency on trunk coordination in human walking. *Gait Posture* 2010; 31: 444–449.
- 29) Siragy T, Mezher C, Hill A, et al.: Active arm swing and asymmetric walking leads to increased variability in trunk kinematics in young adults. *J Biomech* 2020; 99: 109529.
- 30) Punt M, Bruijn SM, Wittink H, et al.: Effect of arm swing strategy on local dynamic stability of human gait. *Gait Posture* 2015; 41: 504–509.
- 31) Collins SH, Adamczyk PG, Kuo AD: Dynamic arm swinging in human walking. *Proceedings of the Royal Society B* 2009; 276: 3679–3688.
- 32) Kubo M, Wagenaar RC, Saltzman E, et al.: Biomechanical mechanism for transitions in phase and frequency of arm and leg swing during walking. *Biol Cybern* 2004; 91: 91–98.
- 33) Pontzer H, Holloway JH, Raichlen DA, et al.: Control and function of arm swing in human walking and running. *J Exp Biol* 2009; 212: 523–534.
- 34) Gutnik B, Mackie H, Hudson G, et al.: How close to a pendulum is human upper limb movement during walking? *Homo* 2005; 56: 35–49.
- 35) Kuitz-Buschbeck JP, Jing B: Activity of upper limb muscles during human walking. *J Electromyogr Kinesiol* 2012; 22: 199–206.
- 36) Gracovetsky S: An hypothesis for the role of the spine in human locomotion: a challenge to current thinking. *J Biomed Eng* 1985; 7: 205–216.
- 37) Glasauer S, Amorim MA, Vitte E, et al.: Goal-directed linear locomotion in normal and labyrinthine-defective subjects. *Exp Brain Res* 1994; 98: 323–335.

Relationship between Arm Swing Amplitude and Asymmetry and Spinal Rotation of Gait in Healthy Elderly Females

Hiroshi Katoh¹⁾, Hitoshi Ishikawa¹⁾, Tadayoshi Minamisawa¹⁾,
Tsutomu Fujita²⁾, Kazuya Okazawa²⁾, Yuki Nasu²⁾

¹⁾ Graduate School, Yamagata Prefectural University of Health Sciences

²⁾ Department of Rehabilitation, Kyushu University Hospital

Objective: This study aimed to investigate the relationship between the arm swing angle, arm swing angle asymmetry, and spinal rotation angle of natural gait in healthy elderly females.

Methods: Ten healthy elderly females (mean age: 66.2 ± 2.0 years) participated in this study. The kinematics data of the left and right humeri (L_arm, R_arm), 7th thoracic spinous process (T7), 3rd lumbar spinous process (L3), and the 2nd sacral spinous process (S2) were recorded using motion sensors. We evaluated the average difference values and the correlation of each sensor.

Results: The angle of the L_arm significantly exceeded that of the R_arm, and arm swing exhibited asymmetry. The rotation angles of T7 and L_arm and T7 and ASI were both significantly correlated; although correlation was negative and positive, respectively.

Conclusion: The passive factor of the arm swing angle during natural walking due to thoracic spine rotation is small, and many factors are involved in arm swing asymmetry.

Key words: Natural gait, Angle of spine rotation, Angle of arm swing, Asymmetry, Motion sensor

その他

世界における遠隔リハビリテーションの実態調査と報告*

吉川 光司^{1)2)#} 対馬 栄輝²⁾

遠隔リハビリテーションとは、スマートフォンやタブレット、パーソナルコンピューターなどの情報機器と情報通信技術（以下、ICT）を用いてリハビリテーション従事者と患者が物理的に離れている環境でリハビリテーションを行う方法である。健康相談や評価、運動処方などを、ビデオ会議を介し実施することで遠隔地など医療の提供が困難な地域および通院が困難な患者を対象としているが本邦では社会的認知度が低い。そこで本邦への情報提供を目的として2001年から2020年までの遠隔リハビリテーションを介入手段とした臨床研究を収集しレビューを実施、62編の論文から情報を抽出した。結果、遠隔リハビリテーションの対象としては中枢神経疾患、運動器疾患、呼吸器や循環器疾患、難病や代謝性疾患、さらには高齢者のフレイルなど多種多様だった。また、研究数、研究実施地域および分野は徐々に増えていた。今後さらなる遠隔リハビリテーションの発展が見込まれる。

キーワード 遠隔リハビリテーション、遠隔理学療法、情報通信技術、ICT

はじめに

情報通信技術（Information communication technology：以下、ICT）の発展とインターネット環境の整備、スマートフォンやタブレットなどの通信端末の目覚ましい進化は、医療においても多くの変化をもたらした。海外ではインターネットを利用した遠隔医療（Telemedicine）の運用が行われるようになり、何らかの理由により通院が難しい患者にとって選択肢の一つとして認知されている。

リハビリテーションにおいては対面での介入が一般的である。世界保健機関（World health organization：以下、WHO）によるとリハビリテーションとは『環境に合わ

せて最適な機能を獲得し維持することに対し能力障害を経験する、もしくは経験する可能性のある個人個人を補助するための1組の手段』と定義されている¹⁾。当然ながら評価および治療介入は患者に実際に会い、用手接触を用いることを前提としていた。しかしICTの革新によりこれらの前提は変化しつつある。

遠隔技術を用いたリハビリテーションとは遠隔リハビリテーション（Telerehabilitation）または遠隔理学療法（Tele physiotherapy, Tele physical therapy）と呼ばれ、スマートフォンやタブレット、パーソナルコンピューター（Personal computer：以下、PC）などを使用し患者と物理的に接触することなくリハビリテーションを実践する方法である²⁾。健康相談や視診による評価、運動処方および修正などをビデオ通話を介して行い、バイタルサインの記録解析によるエクササイズ強度の管理やウェアラブル端末を介した行動記録によるエクササイズ遵守度の共有なども可能となりつつある。

遠隔リハビリテーションの運用を認めている国は多く、主に遠隔地や過疎地など理学療法クリニックや病院に物理的にアクセスできない患者を対象にしてすでに世界中で導入が検討されていた³⁻⁶⁾。またその治療効果の判定は世界中で試みが始まっているが日本での試みはま

* Fact-finding Survey and Report on the Use of Telerehabilitation Around the World

1) 医療法人整形外科尾形クリニック

(〒790-0923 愛媛県松山市北久米町38番8)

Koji Yoshikawa PT, MPhty: Ogata Orthopedic Clinic

2) 弘前大学大学院保健学研究科

Koji Yoshikawa PT, MPhty, Eiki Tsushima PT, PhD: Hirosaki University Post Graduate School of Health Science

E-mail: kojiphysio@gmail.com

(受付日 2021年12月28日/受理日 2022年5月17日)

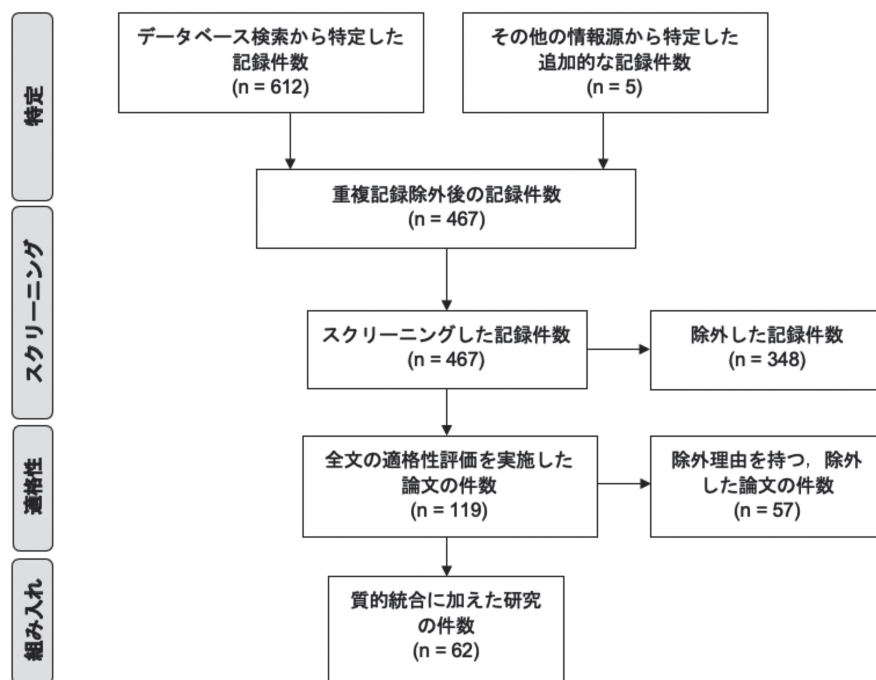


図1 スクリーニング過程

遠隔リハビリテーションの臨床研究に関する論文検索実施の際経過したスクリーニング過程
および取り込み基準

だ少ない。よって他国の現状と内容についての情報を、本邦のリハビリテーション従事者に認識してもらうことは今後の社会情勢を考えると有意義である。本研究の目的は遠隔リハビリテーションに関する文献レビューによりその世界的潮流の一端を紹介することにある。

対象と方法

1. 対象

本研究は国内外の遠隔リハビリテーションを介入方法とした臨床研究を対象として収集、研究が実施された国と分野別に分類し情報を抽出した。

2. 文献検索の方法

検索期間は2020年5月とし、電子データベースを用いて検索した。和文の検索にはCiNiiとメディカルオンライン、英文の検索にはPubMed, Scopus, Web Of Science, Google scholar を使用し2001年から2020年5月31日までの遠隔リハビリテーションを介入手段とした臨床研究を抽出した。キーワードは「遠隔リハビリテーション」「遠隔理学療法」「遠隔」「リハビリテーション」「理学療法」の組み合わせを日本語で、現在WHOや研究者の間で遠隔リハビリテーションの対訳として普及している「tele rehabilitation」²⁾⁷⁾と、その下位語である「tele

physiotherapy」「tele physical therapy」を英語でそれぞれのデータベースで検索した。検索結果を論文管理ソフトに入力し、重複論文を除外した。

3. スクリーニング

検索の結果612の論文および研究構想などが見つかり、論文管理ソフト EndNote® に取り込んだ。取り込み論文の参考文献から5本の論文を追加し、617本の論文に対し一次スクリーニングを行った。筆頭著者が各論文のタイトルをチェックして、二重に取り込まれた論文および二次研究などを除外した。そこまですら残った467編に対して再びタイトルおよびアブストラクト内容をスクリーニングし、膀胱癌に対するロボット支援を用いた摘出術、メンタルケアを目的とした遠隔看護や機械的換気が必要とする循環器疾患患者の遠隔モニタリングなど遠隔リハビリテーションに関連がないもの348編を除外した。119編の論文に対してフルテキストリーディングを実施後62編の論文を抽出した(図1)。

結 果

1. 遠隔リハビリテーションの臨床研究数

2001年から2006年までは年間1編程度の論文数だったが、2007年から徐々に増加し2014年からは年々増加

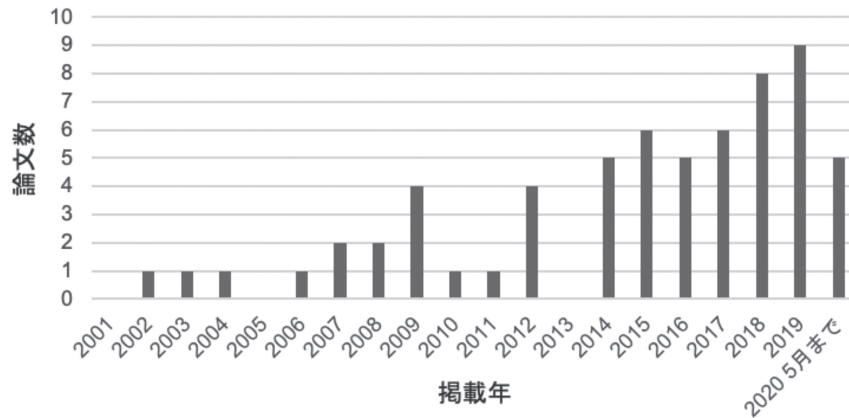


図2 遠隔リハビリテーションの臨床研究数
遠隔リハビリテーションを介入手段とした臨床研究で国際誌に掲載された論文数

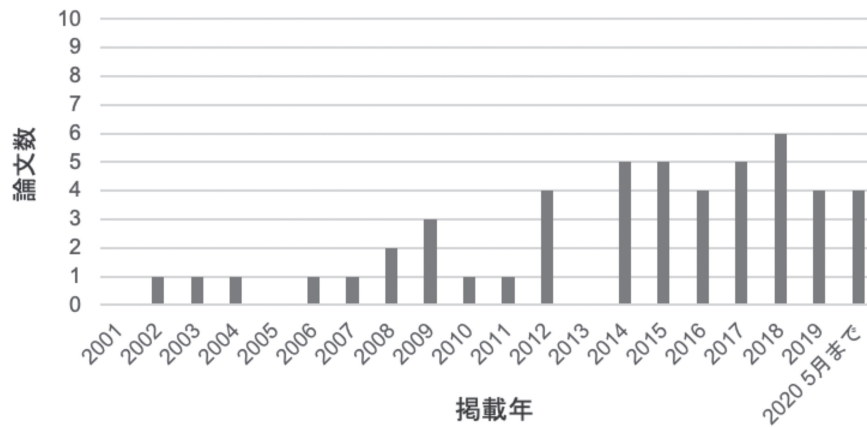


図3 遠隔リハビリテーションの研究実施国数
遠隔リハビリテーションを介入手段とした臨床研究が行われた研究実施国数

傾向があった。2020年の論文数は5月31日時点までで5本の論文が発表された（図2）。

2. 臨床研究の地域別割合

論文データの抽出において実際に遠隔リハビリテーションを実施した地域を、地域別に分類し論文数を数えた（表1）。ヨーロッパが最多で北米が僅差で続いた。残りの1/4程度をアジア、オセアニア、アフリカが占めた。中東地域の論文が最も少なかった。国別ではアメリカ、カナダ、イタリア、イギリス、デンマークが多くの論文を発表していた。アジア地域においては本邦の論文は含まれていなかった。また、研究を実施した国の数は年を重ねるごとに増加傾向があった（図3）。注）複数地域で実施された研究3編を除く。

3. 遠隔リハビリテーションのプロセス

遠隔リハビリテーションにおける臨床の具体的な例と

表1 臨床研究の地域別割合

地域	論文数	割合
ヨーロッパ	26	42%
北米	23	37%
アジア	5	8%
オセアニア	4	6%
アフリカ	3	5%
中東	1	2%

遠隔リハビリテーションを介入手段とした臨床研究が実施された世界における地域別割合

してアメリカやニュージーランドで行われている理学療法士による遠隔リハビリテーションのプロセスを表2にて示す⁵⁾⁶⁾。まず患者のスマートフォンやPCにビデオ会議ソフトのダウンロードを依頼する。オンライン上で設定を行い、メールにて実施同意書および保険制度の書類を送付し記入を依頼する。オンラインミーティングの

表2 遠隔リハビリテーションの実施手順

手順	実施項目	留意点
1	事前準備	PC・スマートフォンの準備 ビデオ会議ソフトのインストール 実施日時の設定
2	評価と問題点抽出	デジタル評価機器（ウェアラブル端末など）の使用 対象でない場合他機関に紹介
3	説明と同意	電子書類（リハビリテーション実施計画書）の署名
4	患者教育	疾患毎の注意点に関する資料の配布 日常生活動作（ADL）に対する個別指導
5	自主トレーニング処方	評価結果を基に運動（ストレッチ・エクササイズなど）処方 個別に作成した運動シートの配布
6	再評価とフォローアップ	実施後効果判定 対象でない場合他機関に紹介

遠隔リハビリテーションにおける臨床の具体的な例としてアメリカやニュージーランドで行われている理学療法士による遠隔リハビリテーションのプロセス

リンクをメールにて患者に送付し問診を開始、単純なセルフテストの実施後問題点を抽出する。適切なアドバイス、患者教育、自主トレーニング方法と管理方法およびエクササイズ方法などを伝達する。遠隔リハビリテーションが困難または危険であると判断した場合は適切な機関に紹介する。

4. 臨床研究の研究対象疾患

対象疾患別に見てみると、脳梗塞など中枢性疾患に関する論文が最多で、次に関節症や人工膝関節および股関節全置換術後の介入など運動器疾患が続いた。三番目に呼吸器疾患が位置し、心臓などの循環器疾患が続いた。最後に多発性硬化症や筋萎縮性側索硬化症などの難病、糖尿病などの代謝性疾患、高齢者のフレイルの順となった（表3）。また、遠隔リハビリテーションを介入手段としたリハビリテーション分野は年を重ねる度に多様化していた（図4）。それぞれの疾患別遠隔リハビリテーションの内容について以下に記す。

5. 各対象疾患に対するリハビリテーションの内容

1) 中枢性疾患

中枢性疾患に関する本調査の取り込み論文のうち、脳卒中維持期のリハビリテーションに関する論文が最多で次に脊髄損傷、パーキンソン病、小児麻痺関連の論文が続いた。脳卒中維持期患者を対象にした遠隔リハビリテーションのソフトウェア開発に関しては、ビデオカンファレンスでのデータ共有を利用したパイロット研究内において患者の満足度調査の結果は良好でパフォーマンス向上を認めた⁸⁾としている。遠隔システムによるバランス向上プログラムを利用した患者を、従来のリハビ

表3 遠隔リハビリテーション分野

遠隔リハビリテーション分野	論文数	割合
中枢性疾患	22	35%
運動器疾患	13	21%
呼吸器疾患	9	15%
循環器疾患	7	11%
難病	5	8%
代謝性疾患	3	5%
高齢者のフレイル	3	5%

遠隔リハビリテーションを介入手段としたリハビリテーション分野別割合

リテーション群と遠隔リハビリテーション群に分類し介入効果を比較した結果、差を認めなかったとするグループもあった⁹⁾。ハードウェアに関してはウェアラブルゴニオメーターを用いた介入後満足度調査¹⁰⁾、装具型ロボットとテレビゲームを用いた実現可能性研究¹¹⁾、テレビゲームとジョイスティック¹²⁾¹³⁾など先端技術を使用した臨床研究が実施されそれぞれ良い結果を得たとしている。近年ではスマートフォンを利用したアプリケーションの開発¹³⁾¹⁴⁾も実施されていた。中枢性疾患に関する論文には質的評価とシステムの研究開発に関するパイロット研究や実現可能性の研究を扱う論文が多かった。さらに、同分野の維持期におけるリハビリテーション介入効果について言及する研究が散見⁹⁾¹⁴⁾¹⁵⁾され、医療費および交通費節約¹⁴⁾やエクササイズの遵守度管理¹⁶⁾についても評価された。

2) 運動器疾患

運動器疾患の対象は変形性膝関節症および股関節症と

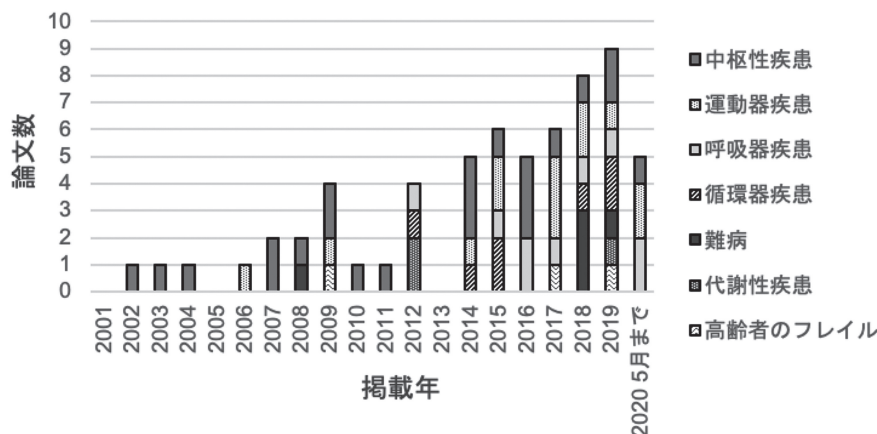


図4 遠隔リハビリテーション分野の多様化
遠隔リハビリテーションを介入手段とした臨床研究の経年に伴う多様化

それぞれの人工関節置換術（Total knee arthroplasty：以下，TKA，Total hip arthroplasty：以下，THA）で多かった。TKA および THA 術後患者に対する遠隔リハビリテーション実施群と従来のリハビリテーション実施群の介入効果に差は認められないとした研究¹⁷⁾¹⁸⁾や、遠隔リハビリテーションと訪問リハビリテーションを比較し同様の結果を得た¹⁹⁾との報告が認められた。さらに先端技術である関節運動のトラッキングシステム²⁰⁾を使用して患者の評価と効果判定に用いた研究を認めた。運動器疾患に関しては多くの研究者が遠隔技術を用いた関節症への介入による費用対効果に言及¹⁹⁾²⁰⁾，有益であるとした。

3) 呼吸器疾患

呼吸器疾患ではすべての研究が慢性閉塞性肺疾患（Chronic obstructive pulmonary disease：以下，COPD）を対象としており慢性期疾患への介入方法として遠隔リハビリテーションが使用されていた。ランダム化比較試験（Randomized controlled trial：以下，RCT）による遠隔リハビリテーションの有効性の検証²¹⁾や予防的在宅モニタリングの費用対効果の検討²²⁾，血中酸素濃度計と万歩計を利用した患者のデータ測定²³⁾などその内容は多彩だった。さらに患者教育をまとめたプログラムの有効性の検証²⁴⁾や長期間の遠隔モニタリングを実施した介入効果の検討²⁵⁾，内容的妥当性と表面妥当性についての検討²⁶⁾など呼吸器疾患に関する論文はRCTや大規模な観察研究が多かった。また，同分野の介入による費用対効果は高く²²⁾エクササイズの遵守度に言及した研究を認めた²¹⁾。

4) 循環器疾患

循環器疾患に関しては心疾患患者を対象にした研究が多かった。心筋梗塞後の患者を従来の施設で行うリハビリテーション群と部分的に在宅での遠隔リハビリテーションを導入した群の比較を実施した研究²⁷⁾や，週1回，外来患者に対し遠隔モニタリング下でトレッドミル歩行とエルゴメーターを実施し，定期連絡を取り遵守度と合併症についての調査を行った研究²⁸⁾，弁膜症の患者を介入群とコントロール群に割り付けし介入群に遠隔リハビリテーションを実施，コントロール群には病院での従来のリハビリテーションを実施した研究²⁹⁾など循環器疾患に対する研究では非ランダム化比較試験が多く，多くが遠隔リハビリテーションの安全性に考慮し介入効果に言及した。

5) 難病

多発性硬化症（Multiple sclerosis：以下，MS），筋萎縮性側索硬化症（Amyotrophic lateral sclerosis：以下，ALS）の患者に対しても遠隔リハビリテーションは提供されている。MSおよびALS患者を対象とした介入では在宅でのエクササイズプログラムの設定や，スマートフォンを利用したバイタルサインの記録および解析など，適切な運動負荷をモニタリングした運動療法を実施可能で，効果を認めたとしている³⁰⁻³²⁾。Conroyらは従来の在宅リハビリテーションと遠隔リハビリテーションをMS患者に実施し，6ヵ月間の介入後患者の歩行能力およびバランス能力に差は認めなかったとした³³⁾。また，細菌による呼吸器の易感染症を伴う嚢胞性繊維症の小児患者に対し，感染症対策として遠隔エクササイズプログラムを実施，介入後の質問紙法評価にて患者の前向きな評価を得た研究を認めた³⁴⁾。

6) 代謝性疾患

代謝性疾患に関する論文はすべて糖尿病に対するエクササイズ遵守度の管理がテーマだった³⁵⁻³⁷⁾。遠隔リハビリテーションの導入によりエクササイズの実施とデータ管理を行い遠隔で患者の運動記録と分析が可能となった。また、患者のフォローアップを目的とした研究では安全性とコストについての検討が行われた³⁶⁾。

7) 高齢者のフレイル

あるグループは、在宅高齢者に対して関節可動域と筋力の維持改善を目的としてビデオカンファレンスを用いた遠隔リハビリテーションを実施し評価を行った³⁸⁾。さらにリアルタイムで遠隔指導を行い患者のエクササイズ遵守度の向上を認めたとの報告³⁹⁾や、高齢者のエクササイズ遵守度の向上が救急外来利用の低下につながったとの報告⁴⁰⁾など、高齢者のフレイルに対する介入が技術革新により可能となり、障害予防や医療コストの低減などが考察された。

考 察

ICT技術の発展により、遠隔リハビリテーションは徐々にその利用地域と利用対象疾患を増やし、北米やヨーロッパ、オセアニアではリハビリテーションを受ける際患者の一つの選択肢として確立されつつあると考える。今回の調査で抽出した論文には実現可能性の検証やパイロット研究が多く、より大規模でエビデンスレベルの高い研究が今後必要となる。しかし同分野の質的評価の結果を統合した上で実現可能性の研究の進展を考慮すると、今後もさらなる発展が見込める。また研究のフィールドはすでに世界各地で整備されており、保険請求可能な国と地域が増えている。今回のレビューを通して様々な疾患に対し多種多様なアプローチが実施されていることがわかったが、中枢性疾患に関しては麻痺肢に対する機能的リハビリテーション、運動器疾患に関しては変形性関節症の疼痛管理やエクササイズ管理、呼吸器疾患および循環器疾患、代謝性疾患、難病、高齢者のフレイルに関してはエクササイズの遵守度の維持改善を目的に遠隔リハビリテーションは実施されていた。これらの情報を踏まえて以下に遠隔リハビリテーションの現状と今後について記す。

1. 先端技術の応用について

遠隔リハビリテーションの臨床研究数、地域別割合はICTの技術革新と世界的な普及に伴い増加したと考えられる。ハードウェア、ソフトウェア双方の分野で、北米

やヨーロッパ、中東において中枢性疾患に対して先端技術の応用が始まっている。ロボットアームの利用により麻痺側上肢の手指・手関節および肘関節を覆い運動を記録、エクササイズのフィードバックに利用が可能となり¹²⁾⁴¹⁾、3次元モーショントラッキングシステムの開発も進んでいる²⁰⁾⁴²⁾。ロボットアームを装着した患者の上肢の運動はデータ化され患者の運動をコンピューター上で再現可能で、データはオンラインで共有されビデオカンファレンスに利用できる。

ロボットの利用対象は片麻痺のみではない。ウェアラブル端末を利用した足関節のリハビリテーションの実用性について検討している⁴³⁾グループや、ロボットの利用がリハビリテーションの時間の節約になると訴える⁴⁴⁾グループもある。膝関節疾患をもつ患者の膝関節に関節運動感知センサーを取り付け、エクササイズ時にフィードバックを行いスマートフォンのアプリによりデータを記録・解析するという試みも行われている²⁰⁾。

さらにコンピューターゲームの利用も検討されている。ある研究グループは3Dアニメーションとタッチスクリーンを利用した上肢のエクササイズを実施、そのデータをサーバーに蓄積し遠隔管理を可能にするシステムの使用を検討した⁹⁾。以上のように遠隔リハビリテーションのプロセスを実施する際必要なICTの技術革新は年月を重ねるごとにより洗練され、現在のアプローチ方法が可能になったと考えられる。

患者が自宅など慣れた環境で集中力を高めることができればより効果的な理学療法が実施できる可能性がある。これら先端技術の応用によって今後より広範囲な疾患に対する介入が可能となる可能性が高い。

2. 慢性疾患との親和性について

比較的症状の安定した慢性期疾患に対する遠隔リハビリテーションの適応は相性がいいと考える。脳卒中片麻痺患者と同様、COPD患者のリハビリテーションで重要視されるのは適度な有酸素運動と筋力低下の予防である⁴⁵⁾。ICT技術の進歩によりエクササイズの強度や頻度、パルスオキシメーターのデータもオンライン上での記録および管理が可能となったことは遠隔リハビリテーションの対象疾患の増加に関係している可能性がある。COPDに対するエクササイズ遵守度の遠隔管理や電話での相談・アドバイスなどに対する患者の満足度は高く²³⁾、多発性硬化症患者に対する満足度調査でも同様の結果を得た³¹⁾。しかし疑問を投げかけるグループもある。

Cameronら⁴⁶⁾によるRCTでは、トレーニングを受けた看護師の遠隔アドバイスに基づいてウォーキングを実

施したが効果はなく、通常の理学療法を実施した群が改善したと報告しているが、理学療法士の介入がなかったため介入内容にばらつきがあり効果自体が低下した可能性がある。慢性疾患の治療に対する医療費の削減は近年の医療において世界的なテーマであり、そのリハビリテーションの内容で優先すべきはエクササイズや患者教育だがこれらの業務は必ずしも対面で実施する必要がない。安全性や効果についての検証が不可欠であるが、脳卒中維持期⁹⁾¹⁵⁾、COPD²²⁾、難病³³⁾、糖尿病³⁶⁾、高齢者のフレイル³⁹⁾など多くの論文で本テーマは議論されていた。今後さらなる報告が期待できる。

3. エクササイズの遵守度について

生活習慣病や COPD 治療においてエクササイズの継続は重要であるが、参加率や遵守度の改善は常に議論的である。遠隔モニタリングシステムの利用は患者のエクササイズ遵守度に貢献し、バイオフィードバック装置の反応の速さが患者の自己管理を促しているとした研究²⁰⁾や、遠隔呼吸リハビリテーションの参加者は従来の方法よりも高い出席率を示したという報告²¹⁾などがある。2 型糖尿病患者へのエクササイズ遵守度を調べたある調査でも、遠隔モニタリングによる介入群は週に 138 分エクササイズを行ったが、コントロール群はわずかに 58 分であったとしている³⁷⁾。

Keating ら⁴⁷⁾は従来のリハビリテーションの問題点として日常のルーティーンの阻害、社会的活動参加や家事への影響等を挙げ、遠隔リハビリテーションが解決策となる可能性を示した。一方で遠隔システムを使用した群の脱落率が高いとする報告も散見される¹¹⁾²⁴⁾³⁰⁾ため、今後も検証の余地があると言える。

4. 費用対効果について

リハビリテーションを受けるための移動は主に過疎地や離島の患者にとって時間的・経済的に困難で、地域による医療体制の不均質は従来から問題だったが、遠隔リハビリテーションが解決策となった事例を紹介する。Farvar-Vestergaard ら⁴⁸⁾の質的研究の参加者は、在宅で呼吸リハビリテーションに参加することで医療機関に移動する交通費を節約し 1 日を有効に使うことができたという意見が多かった。Tousignant ら⁴⁹⁾は TKA 後のリハビリテーションを実施する患者を遠隔介入群と訪問介入群に分けて同一内容の介入を行い実際の費用を比較、事業所から往復で 30 分以上の距離になると遠隔介入群のコストが低いと結論づけた。Marios ら³⁷⁾はアメリカで 2 型糖尿病の遠隔リハビリテーションにかかったコストは 6 ヶ月間の介入期間を満了した患者一人につき 1,050

ドルで、低用量のインスリンと ACE 抑制剤を併用した場合と同じ程度の金額だったとしており、生活習慣病に対する新しい介入方法として期待が寄せられる。基礎疾患を有する高齢者に対するリハビリテーションでも遠隔群において救急外来の利用率が低下したという報告もある⁴⁰⁾など、遠隔リハビリテーションが医療費の抑制に対する有効な手段となることが示された。2050 年まで世界の高齢者人口は増え続けると予想されており、慢性期疾患をもつ患者のさらなる増加が見込まれる。今後遠隔リハビリテーションによる医療費削減効果に期待が寄せられる。

5. デメリットと展望について

直接患者に会えないのが遠隔リハビリテーションの欠点の最たるものである。実際に徒手を用いた検査・治療が不可能となり選択肢の制限と信頼性の低下は避けられない上、モニター越しの視診では炎症所見を見逃す可能性もある。理学療法では徒手による患者との接触が、より患者と治療者間の信頼や敬意を醸成する可能性がある⁵⁰⁾ため、これらの効果は遠隔リハビリテーションでは期待できない。今回の調査において遠隔リハビリテーションの臨床研究の発展が遅れている分野については、実施は倫理的に困難と考える。情報通信機器に加えてより多くの情報を遠隔で取り扱う場合、導入費用が問題となる。脳卒中片麻痺患者に対するロボット技術など特別な端末を使用する場合はシステム自体の普及が課題と考えられる。

しかし慎重な適応による遠隔リハビリテーションの長所はこれらの短所をも上回ると考える。患者のデジタル機器への理解が必要なのは確かである。しかし、スマートフォンやタブレットを利用した遠隔リハビリテーションはあらゆる年代と疾患の患者間で急速に普及し受け入れられている¹⁸⁾³⁴⁾³⁹⁾。今後より万人に使い勝手の良いアプリケーション開発による参加率および遵守度の向上も期待できる。また、仮想現実やゲーム機はすでに遠隔リハビリテーションへの導入が検討されており¹³⁾、今後機器の進化によりシステム導入コストを抑えられる可能性がある。実際に患者同士で会うことができずにコミュニティ形成が困難だとする声もあるが、技術の発展により遠隔リハビリテーションの提供者と参加者間¹¹⁾、さらには参加者相互に円滑なコミュニケーションが可能となったため参加する楽しみといった付加価値を求める患者にも対応が可能となっている³⁴⁾。

6. 感染症対策としての遠隔リハビリテーションについて

患者と治療者間の物理的な距離がメリットとなる疾患

もある。難病の指定を受けている遺伝疾患、嚢胞性線維症の患者は医療機関などで他者と接触することで交差感染を起こす可能性があり、外来リハビリテーションの実施が困難である。Chen ら³⁴⁾の質的研究において、小児患者は遠隔リハビリテーションについて、「みんなと話しながらするエクササイズは楽しい」「咳が減って肺の問題が良くなったよ」などと前向きにコメントしている。

2020 年から世界中で猛威を振っている感染症、新型コロナウイルス（以下、COVID-19）に対する感染症対策としても遠隔リハビリテーションを導入する国が増えている。アメリカでは今回の COVID-19 の流行以後 2020 年 3 月 1 日より緊急事態が収束するまでの間メディケア B（アメリカの高齢者および障害者向け公的医療保険）を利用し遠隔リハビリテーションの利用が認められた⁵⁾。ニュージーランドでは防疫上の対策としてロックダウンを実施したが、その期間は在宅勤務の理学療法士が自宅からオンラインで患者の自宅と接続、リハビリテーションの実施が可能だった⁶⁾。世界中で感染症対策としての遠隔リハビリテーションが注目を浴びている。

7. 本邦での導入について

本邦では諸外国と異なり、理学療法士は開業権を有しておらずリハビリテーション実施には医師の診断が不可欠である。今回抽出した論文の中で運動器疾患に対する遠隔リハビリテーションの利用方法は初診時から理学療法士が単独で評価および介入を行っているため、そのまま本邦に導入するのは困難である。しかし慢性期疾患との親和性についての可能性を考慮すれば、運動器リハビリテーションを終了したものの慢性痛を抱える患者や、人工関節置換術後対面でのリハビリテーション介入期間が終了したが機能障害が残存している患者などの受け皿として有効性の検証を行う価値があると考ええる。同様に生活習慣病や COPD、脳血管障害後の患者に対する運動指導など、必ずしも対面で実施する必要のない分野に関しても患者の通院回数を減らし負担を軽減することが可能である。内科的疾患の多くは定期的に医師の検診が必要となるが、多くの場合患者の生涯にわたる介入が必要である。事前に医師の診断に基づいた介入方法を策定することで、本邦でも遠隔リハビリテーションの実施は可能であると考ええる。関連法案や診療報酬などの法整備、患者のプライバシー保護のための強固なセキュリティを持ったシステムの構築、リハビリテーション提供側の ICT に関する知識の強化など乗り越えなければならない課題が多数あるものの遠隔リハビリテーションの本邦への導入は諸外国同様、患者にとって福音となる可能性がある。

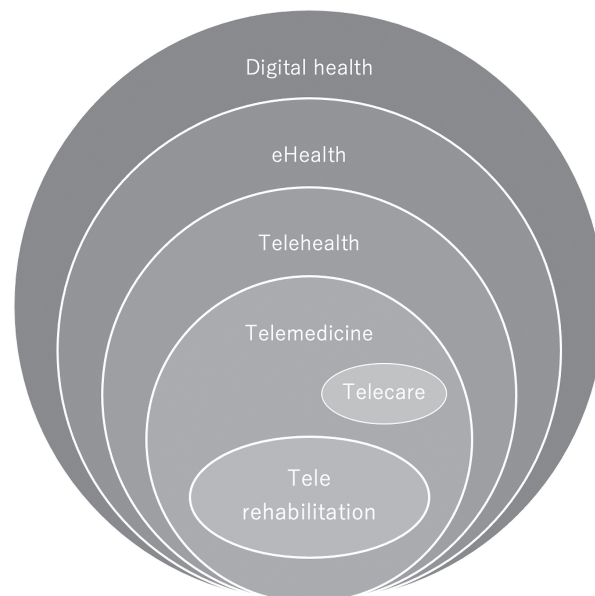


図5 遠隔リハビリテーション関連用語の概念的枠組み
遠隔リハビリテーションに関する上位語、下位語の階層図

8. 本研究の限界について

本研究では取り込み論文の質的評価は未実施のため情報の質に関する考察は困難である。また、「Telerehabilitation」には同義語として「Remote rehabilitation」「Virtual rehabilitation」などが多数存在し乱立する⁵¹⁾と同時に、シソーラス検索において現在最上位語の「Digital health」と「Telerehabilitation」の間に「Telemedicine」「Telehealth」などの用語が存在し細分化が進んでいる²⁾⁷⁾⁵¹⁾（図5）。本研究では「Telerehabilitation」の上位語を検索すると検索範囲が膨大となる可能性を考慮しキーワードを限定したため取りこぼした論文の存在は否定できない。今後、用語の策定を待ち再度レビューを実施する必要があると考える。

結 論

遠隔リハビリテーションは今世紀に入り海外の臨床現場で運用が始まり、今や研究分野としても注目を集める存在になりつつある。その効果判定には時間を要するが、研究数、研究実施地域および分野は増加傾向で、世界中で研究対象として認知されていると言える。対象疾患や実施可能な内容については制限があるが、今後より広範囲の患者に対してリハビリテーションを提供できる可能性がある。今後遠隔リハビリテーションの発展を注視すべきである。

利益相反

本研究に開示すべき利益相反はない。

文 献

- 1) WHO World Bank World report on disability (2011): Chapter 4 Rehabilitation. https://www.who.int/disabilities/world_report/2011/report.pdf (Nov 4th. 2021)
- 2) Brennan DM, Tindall L, Theodoros D, et al.: A blueprint for telerehabilitation guidelines-October 2010. *Telemed J E Health* 2011; 17: 662–665.
- 3) Davis P, Howard R, Brockway P: An evaluation of telehealth in the provision of rheumatologic consults to a remote area. *J Rheumatol* 2001; 28: 1910–1913.
- 4) Dew A, Bulkeley K, Veitch C, et al.: Addressing the barriers to accessing therapy services in rural and remote areas. *Disabil Rehabil* 2013; 35: 1564–1570.
- 5) American Physical Therapy Association (APTA): Telehealth in practice. <https://www.apta.org/your-practice/practice-models-and-settings/telehealth-practice> (Nov 4th. 2021)
- 6) Physiotherapy board of New Zealand: Telehealth standard. <https://www.physioboard.org.nz/standards/physiotherapy-standards/telehealth-standard> (Nov 4th. 2021)
- 7) Cardoso: Barriers and levers for the use of telerehabilitation through experimentation in three countries. 2021, Human & Inclusion, Lyon. https://hi.org/sn_uploads/document/barriersandlevers_telerehabilitation_rs16.pdf (Apr 25th. 2022)
- 8) Piron L, Turolla A, Tonin P, et al.: Satisfaction with care in post-stroke patients undergoing a telerehabilitation programme at home. *J Telemed Telecare* 2008; 14: 257–260.
- 9) Lin KH, Chen CH, Chen YY, et al.: Bidirectional and multi-user telerehabilitation system: clinical effect on balance, functional activity, and satisfaction in patients with chronic stroke living in long-term care facilities. *Sensors (Basel, Switzerland)* 2014; 14: 12451–12466.
- 10) Durfee WK, Weinstein SA, Bhatt E, et al.: Design and usability of a home telerehabilitation system to train hand recovery following stroke. *J Med Device* 2009; 3: DOI: 10.1115/1.4000451
- 11) Amirabdollahian F, Ates S, Basteris A, et al.: Design, development and deployment of a hand/wrist exoskeleton for home-based rehabilitation after stroke – SCRIPT project. *Robotica* 2014; 32: 1331–1346.
- 12) Sivan M, Gallagher J, Makower S, et al.: Home-based Computer Assisted Arm Rehabilitation (hCAAR) robotic device for upper limb exercise after stroke: results of a feasibility study in home setting. *J Neuroeng Rehabil* 2014; 11: DOI: 10.1186/1743-0003-11-163.
- 13) Szturm T, Imran Z, Pooyania S, et al.: Evaluation of a game based tele rehabilitation platform for in-home therapy of hand-arm function post stroke: feasibility study. *PM and R* 2020; DOI: 10.1002/pmrj.12354
- 14) Sarfo FS, Adamu S, Awuah D, et al.: Potential role of tele-rehabilitation to address barriers to implementation of physical therapy among West African stroke survivors: a cross-sectional survey. *J Neurol Sci* 2017; 381: 203–208.
- 15) van den Berg M, Crotty M Prof, Liu E, et al.: Early Supported Discharge by Caregiver-Mediated Exercises and e-Health Support After Stroke: A Proof-of-Concept Trial. *Stroke* 2016; 47: 1885–1892.
- 16) Kowalczewski J, Chong SL, Galea M, et al.: In-home tele-rehabilitation improves tetraplegic hand function. *Neurorehabil Neural Repair* 2011; 25: 412–422.
- 17) Odole AC, Ojo OD: Is telephysiotherapy an option for improved quality of life in patients with osteoarthritis of the knee? *Int J Telemed Appl* 2014; DOI: 10.1155/2014/903816
- 18) Doiron-Cadrin P, Kairy D, Vendittoli PA, et al.: Feasibility and preliminary effects of a tele-prehabilitation program and an in-person prehabilitation program compared to usual care for total hip or knee arthroplasty candidates: a pilot randomized controlled trial. *Disabil Rehabil* 2020; 42: 989–998.
- 19) Moffet H, Tousignant M, Nadeau S, et al.: Patient satisfaction with in-home telerehabilitation after total knee arthroplasty: results from a randomized controlled trial. *Telemed J E Health* 2017; 23: 80–87.
- 20) Buonocunto P, Giantomassi A, Marinoni M, et al.: A limb tracking platform for tele-rehabilitation. *ACM Transactions on Cyber-Physical Systems* 2018; 2: DOI: 10.1145/3148225
- 21) Hansen H, Bieler T, Beyer N, et al.: Supervised pulmonary tele-rehabilitation versus pulmonary rehabilitation in severe COPD: a randomised multicentre trial. *Thorax* 2020; 75: 413–421.
- 22) Dinesen B, Haesum LKE, Soerensen N, et al.: Using preventive home monitoring to reduce hospital admission rates and reduce costs: a case study of telehealth among chronic obstructive pulmonary disease patients. *J Telemed Telecare* 2012; 18: 221–225.
- 23) Paneroni M, Colombo F, Papalia A, et al.: Is telerehabilitation a safe and viable option for patients with COPD? A feasibility study. *COPD* 2015; 12: 217–225.
- 24) Chaplin E, Hewitt S, Apps L, et al.: Interactive web-based pulmonary rehabilitation programme: a randomised controlled feasibility trial. *BMJ Open* 2017; 7: DOI: 10.1136/bmjopen-2016-013682
- 25) Bernocchi P, Vitacca M, Rovere MTL, et al.: Home-based telerehabilitation in older patients with chronic obstructive pulmonary disease and heart failure: a randomised controlled trial. *Age and Ageing* 2018; 47: 82–88.
- 26) Almojaibel AA, Munk N, Goodfellow LT, et al.: Development and validation of the tele-pulmonary rehabilitation acceptance scale. *Respiratory Care* 2019; 64: 1057–1064.
- 27) Korzeniowska-Kubacka I, Bilinska M, Piotrowicz R, et al.: Comparison between hybrid and standard centre-based cardiac rehabilitation in female patients after myocardial infarction: A pilot study. *Kardiol Pol* 2014; 72: 269–274.
- 28) Bhasipol A, Sanjaroensuttikul N, Pornsuriyasak P, et al.: Efficiency of the home cardiac rehabilitation program for adults with complex congenital heart disease. *Congenit Heart Dis* 2018; 13: 952–958.
- 29) Knudsen MV, Petersen AK, Angel S, et al.: Tele-rehabilitation and hospital-based cardiac rehabilitation are comparable in increasing patient activation and health literacy: A pilot study. *Eur J Cardiovasc Nurs* 2020; 19: 376–385.
- 30) Kahraman T, Savci S, Ozdogar AT, et al.: Physical, cognitive and psychosocial effects of telerehabilitation-based motor imagery training in people with multiple sclerosis: a randomized controlled pilot trial. *J Telemed Telecare* 2019; DOI: 10.1177/1357633x18822355
- 31) Finkelstein J, Lapshin O, Castro H, et al.: Home-based physical telerehabilitation in patients with multiple sclerosis: a pilot study. *J Rehabil Res Dev* 2008; 45: 1361–1373.
- 32) Braga AC, Pinto A, Carvalho MD: Tele-monitoring of a home-based exercise program in amyotrophic lateral sclerosis: a

- feasibility study. *Eur J Phys Rehabil Med* 2018; 54: 501–503.
- 33) Conroy SS, Zhan M, Culpepper WJ 2nd, et al.: Self-directed exercise in multiple sclerosis: Evaluation of a home automated tele-management system. *J Telemed Telecare* 2018; 24: 410–419.
 - 34) Chen JJ, Cooper DM, Haddad F, et al.: Tele-exercise as a promising tool to promote exercise in children with cystic fibrosis. *Front Public Health* 2018; 6: DOI: 10.3389/fpubh.2018.00269
 - 35) Durturk N, Özköslü MA: Effect of tele-rehabilitation on glucose control, exercise capacity, physical fitness, muscle strength and psychosocial status in patients with type 2 diabetes: A double blind randomized controlled trial. *Prim Care Diabetes* 2019; 13: 542–548.
 - 36) Kesavadev J, Shankar A, Pillai PB, et al.: Cost-effective use of telemedicine and self-monitoring of blood glucose via Diabetes Tele Management System (DTMS) to achieve target glycosylated hemoglobin values without serious symptomatic hypoglycemia in 1,000 subjects with type 2 diabetes mellitus — A retrospective study. *Diabetes Technol Ther* 2012; 14: 772–776
 - 37) Marios T, Smart NA, Dalton S: The effect of tele-monitoring on exercise training adherence, functional capacity, quality of life and glycemic control in patients with type II diabetes. *J Sports Sci Med* 2012; 11: 51–56.
 - 38) Bernard MM, Fruhwirth M, Janson F, et al.: Videoconference-based physiotherapy and tele-assessment for homebound older adults: a pilot study. *Activities, Adaptation and Aging* 2009; 33: 39–48.
 - 39) Hong J, Kim J, Kim SW, et al.: Effects of home-based tele-exercise on sarcopenia among community-dwelling elderly adults: body composition and functional fitness. *Exp Gerontol* 2017; 87: 33–39.
 - 40) Bean JF, Brown L, DeAngelis TR, et al.: The rehabilitation enhancing aging through connected health prehabilitation trial. *Arch Phys Med Rehabil* 2019; 100: 1999–2005.
 - 41) Loureiro R, Amirabdollahian F, Topping M, et al.: Upper limb robot mediated stroke therapy - GENTLE/s approach. *Auton Robots* 2003; 15: 35–51.
 - 42) Piron L, Tonin P, Trivello E, et al.: Motor tele-rehabilitation in post-stroke patients. *Med Inform Internet Med* 2004; 29: 119–125.
 - 43) Jamwal PK, Hussain S, Mir-Nasiri N, et al.: Tele-rehabilitation using in-house wearable ankle rehabilitation robot. *Assistive Technology* 2018; 30: 24–33.
 - 44) Sharifi I, Talebi HA, Motaharifar M: A framework for simultaneous training and therapy in multilateral tele-rehabilitation. *Comput Electr Eng* 2016; 56: 700–714.
 - 45) 日本理学療法学会連合：理学療法ガイドライン第1版(2011) 12. 慢性閉塞性肺疾患 (COPD). <http://jspt.japanpt.or.jp/guideline/> (2021年11月1日)
 - 46) Cameron-Tucker HL, Wood-Baker R, Joseph L, et al.: A randomized controlled trial of telephone-mentoring with home-based walking preceding rehabilitation in COPD. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis* 2016; 11: 1991–2000.
 - 47) Keating A, Lee A, Holland AE: What prevents people with chronic obstructive pulmonary disease from attending pulmonary rehabilitation? A systematic review. *Chron Respir Dis* 2011; 8: 89–99.
 - 48) Farver-Vestergaard I, O'Connor M, Smith NC, et al.: Tele-delivered mindfulness-based cognitive therapy in chronic obstructive pulmonary disease: a mixed-methods feasibility study. *J Telemed Telecare* 2019; 25: 468–475.
 - 49) Tousignant M, Moffet H, Nadeau S, et al.: Cost analysis of in-home telerehabilitation for post-knee arthroplasty. *J Med Internet Res* 2015; 17: DOI: 10.2196/jmir.3844
 - 50) Bjorbækmo WS, Mengshoel AM: “A touch of physiotherapy” -the significance and meaning of touch in the practice of physiotherapy. *Physiother Theory Pract* 2016; 32: 10–19.
 - 51) WHO: Global strategy on digital health 2020-2025. Geneva 2021. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/344249/9789240020924-eng.pdf> (Apr 8th. 2022)

Fact-finding Survey and Report on the Use of Telerehabilitation Around the World

Koji Yoshikawa¹⁾²⁾, Eiki Tsushima²⁾

¹⁾ *Ogata Orthopedic Clinic*

²⁾ *Hirosaki University Post Graduate School of Health Science*

Telerehabilitation uses Information and Communication Technology (ICT) including smart phones, tablets or laptops connected to the internet to conduct rehabilitation when the therapist and patient are physically separated from each other. By the use of video conference through the internet, health counseling, visual evaluation, exercise prescription and/or correction are possible even if patients are in depopulated areas and have difficulty commuting to the rehabilitation center. Since examples of Telerehabilitation are sparse and have low social recognition in Japan, a literature review on Telerehabilitation globally from 2001 to 2020 was performed for the purpose of providing information to professionals working in the field of rehabilitation in Japan. The review included 62 papers from which information was extracted. It turned out that Telerehabilitation is being implemented with patients in various countries around the world across a variety of conditions such as cerebrovascular accidents, accidental injuries, respiratory problems, heart diseases, problems associated with aging and congenital disorders. Furthermore, it became clear that physical separation while being a disadvantage for rehabilitation could be advantageous from the perspective of social distancing against infectious diseases. Although research into Telerehabilitation is a relatively new area of investigation, many countries are exploring its use, and consequently the number of publications are expanding year upon year. With the development of ICT, the evolution of Telerehabilitation is expected to continue in the future.

Key words: Telerehabilitation, Tele physiotherapy, Tele physical therapy, Information and Communication Technology (ICT)

編集後記

「運動器理学療法学」第2巻の発刊にあたり、編集にご協力いただきました委員をはじめ関係各位にまずは心からお礼申し上げます。

日本運動器理学療法学会は、2021年に一般社団法人化され、「運動器理学療法学」は、日本運動器理学療法学会の機関誌（学術誌）として昨年より発行されました。第1巻では、症例報告2編と研究論文1編が掲載されました。第2巻では、昨年に比べ投稿数も飛躍的に増え、研究論文4編、短報1編、その他1編が掲載となり、皆様の臨床と研究に対する熱い思いを機関誌担当者の一人として、ひしひしと肌で感じた1年でした。

さて、法人化した本学会は、専門組織としてさらに充実、発展していくことが求められています。しかし、組織の中にだけ目を向けていると、専門職として何が強みで何が弱みなのか？ クローズド・ループの中にとくとくとクローズド・ループの問題点は見えてきません。オープン・ループの視点から組織としての専門性を俯瞰的に見ることも重要です。グローバルな視点とローカルな視点を持ちながら、常に新しい情報を発信し続ける力強い組織であるために、今後も臨床、研究活動に邁進し時代と共に変化していく必要性を強く感じております。今後とも本学術誌を宜しく願います。

（加藤 浩）

編集委員会

編集委員長	建内 宏重					
副編集委員長	加藤 浩					
編集委員	阿南 雅也	小栢 進也	久保田雅史	隈元 庸夫	前田 慶明	
	宮坂 淳介	森山 英樹				
アドバイザーボード	市橋 則明					
査読委員	安彦 鉄平	家入 章	石田 和宏	石田 水里	伊藤 浩充	
	井原 拓哉	上田 泰之	瓜谷 大輔	金井 章	金 承革	
	坂口 顕	太田 恵	木村 佳記	佐藤 久友	田中 貴広	
	壇 順司	中野渡達哉	飛山 義憲	平尾 利行	平山 和哉	
	森田 伸	八木 優英	和田 治			

運動器理学療法学 第2巻

2023年3月31日 発行

編集
発行

一般社団法人
日本運動器理学療法学会
〒106-0032
東京都港区六本木7丁目11-10
日本理学療法士協会事務局内
TEL: 03-5843-1747（代表）

DTP

株式会社 東京プレス
〒161-0033
東京都新宿区下落合3-12-18 3F

運動器理学療法学 HP

<http://jspt.japanpt.or.jp/jsmspt/undoukirigakuryouhougaku/>