

2021 年度学位申請論文

題目：大腿骨転子部骨折後の大腿外側部痛に対する理学療法介入
-大腿部への圧迫の効果検証-

森ノ宮医療大学大学院保健医療学研究科
専攻領域：医療科学専攻

指導教員名：工藤 慎太郎

学籍番号：

学位申請者名：河西 謙吾

本文目次

第1章 背景

1-1 大腿骨近位部骨折の疫学.....	7
1-1-1 大腿骨近位部骨折の患者数	
1-1-2 大腿骨近位部骨折に対する外科的治療法	
1-1-3 大腿骨近位部骨折後の疼痛	
1-1-4 大腿骨頸部骨折と大腿骨転子部骨折の差異（発生数と疼痛の程度）	
1-2 大腿骨近位部骨折後の歩行の特徴.....	9
1-2-1 歩行周期と歩行の相の分類	
1-2-2 歩行中の床反力ベクトルと各関節モーメント	
1-2-3 大腿骨近位部骨折を中心とした股関節障害の歩行評価法と歩行の特徴	
1-3 大腿外側部の解剖及び結合組織について.....	10
1-4 組織間の滑走性評価の現状と問題点.....	11
1-5 組織間の滑走性評価方法の開発.....	11
1-5-1 流体画像解析を用いた滑走性の評価と従来法での課題	
1-5-2 組織間の滑走性評価法の確立	
1-5-3 健常者での組織間の滑走性に関連する因子	
1-6 まとめ.....	13

第2章 研究の目的

2-1 大腿骨転子部骨折後における組織間の滑走性と大腿外側部痛の関係.....	14
2-1-1 研究の仮説	
2-1-2 研究の目的	
2-2 大腿骨転子部骨折後における組織間の滑走性に関連する因子の検討.....	14
2-2-1 研究の仮説	
2-2-2 研究の目的	
2-3 大腿骨転子部骨折後の大腿外側部痛および組織間の滑走性に対する弾性包帯を用いた 圧迫の効果検証.....	15
2-3-1 研究の仮説	

2-3-2	研究の目的	
2-4	研究目的のまとめ	15
第3章 大腿骨転子部骨折後の大腿外側部痛と組織間の滑走性の関係		
3-1	目的	16
3-2	方法	16
3-2-1	対象者	
3-2-2	調査項目	
3-2-3	組織間の滑走性評価法	
3-2-4	大腿外側部の疼痛評価	
3-2-5	統計学的検討	
3-3	結果	18
3-4	考察	18
3-4-1	本研究結果のまとめ	
3-4-2	荷重時痛の要因および組織間の滑走性との関連とその妥当性	
3-4-3	組織間の滑走性と大腿外側部痛の改善の関係について	
3-4-4	本研究の臨床的意義	
3-5	本研究の限界	20
3-6	まとめ	20
第4章 大腿骨転子部骨折後の組織間の滑走性に関連する因子の検討		
4-1	目的	21
4-2	方法	21
4-2-1	対象者	
4-2-2	調査時期と評価項目	
4-2-3	組織間の滑走性の評価方法	
4-2-4	結合組織厚の計測法	
4-2-5	大腿外側部痛の評価法	
4-2-6	筋力評価	
4-2-7	関節可動域評価	

4-2-8	統計学的検討	
4-3	結果	23
4-3-1	計測結果	
4-3-2	統計結果	
4-4	考察	24
4-4-1	本研究結果のまとめ	
4-4-2	先行研究での大腿外側部の結合組織構造と滑走性や疼痛の関係	
4-4-3	結合組織厚やその他の調査項目と滑走性における妥当性	
4-4-4	臨床的意義	
4-5	本研究の限界	26
4-6	まとめ	26
第5章	大腿骨転子部骨折後の大腿外側部痛および組織間の滑走性に対する 弾性包帯を用いた圧迫の効果検証 -多施設間共同二重盲検ランダム化 並行比較試験-	
5-1	目的	27
5-2	方法	27
5-2-1	研究デザインとサンプルサイズの推定	
5-2-2	対象（倫理的配慮を含む）	
5-2-3	介入，弾性包帯の装着方法	
5-2-4	調査項目および実験プロトコール	
5-2-4-1	組織間の滑走性評価法	
5-2-4-2	皮下組織厚の計測法	
5-2-4-3	大腿外側部痛の評価	
5-2-4-4	歩行パラメータ評価	
5-2-4-5	関節可動域評価	
5-2-4-6	筋力評価	
5-2-5	統計学的検討	
5-3	結果	30
5-4	考察	31

5-4-1	本研究結果のまとめ	
5-4-2	先行研究での疼痛や滑走性に対する理学療法介入の現状	
5-4-3	弾性包帯を用いた大腿部への圧迫効果の妥当性	
5-4-4	臨床的意義	
5-5	本研究の限界	32
5-6	まとめ	32
6	章 本論文の結論	
6-1	大腿骨転子部骨折後の大腿外側部痛と組織間の滑走性の関係	33
6-2	大腿骨転子部骨折後の組織間の滑走性に関連する因子について	33
6-3	大腿骨転子部骨折後の大腿外側部痛と組織間の滑走性に対する弾性包帯を用いた介入について	33
6-4	今後の展望	34
	引用文献	35
	謝辞	41

図・表目次

第1章

図 1-1	大腿骨頸部骨折と大腿骨転子部骨折の分類.....	42
図 1-2	大腿骨近位部骨折後の外科的治療法の選択.....	43
図 1-3	大腿骨頸部骨折の Garden 分類.....	44
図 1-4	大腿骨頸部骨折と大腿骨転子部骨折の年齢別比率.....	45
図 1-5	大腿骨転子部骨折後の殿部～大腿部の皮下出血例.....	46
図 1-6	歩行周期における立脚期・遊脚期・両脚支持期の規定.....	47
図 1-7	歩行周期は機能的に8つの相分け.....	48
図 1-8	歩行中の床反力ベクトル.....	49
図 1-9	歩行中の関節モーメントと筋活動.....	50
図 1-10	歩行速度の違いが初期接地～荷重応答期の床反力に及ぼす影響.....	51
図 1-11	荷重応答期での床反力.....	52
図 1-12	大腿外側部の解剖学的特徴.....	53
図 1-13	結合組織内のヒアルロン酸の分布について.....	54
図 1-14	大腿部における筋膜の層構造について.....	55
図 1-15	既存の滑走性評価方法.....	56
図 1-16	ベクトルマッピングの手法.....	57
図 1-17	流体画像解析ソフト(Flow PIV)を応用したベクトルマッピング.....	58
図 1-18	関心領域の設定.....	59
図 1-19	皮下組織および外側広筋における流速の時系列データ.....	60
図 1-20	外側広筋及び皮下組織の流速データの散布図.....	61
図 1-21	結合組織の計測部位.....	62

第3章

図 3-1	計測肢位.....	63
図 3-2	自作のプローブ固定装置.....	64
図 3-3	計測部位およびプローブ固定装置を使用したプローブ固定部位.....	65
図 3-4	運動課題.....	66

図 3-5 超音波画像診断装置の設定.....	67
表 3-1 対象者の基本属性.....	68
表 3-2 疼痛の重症度別での群間の比較.....	69
表 3-3 疼痛の重症度別での群内の比較.....	70
表 3-4 各項目の改善度.....	71
表 3-5 滑走性と疼痛の相関関係.....	72
図 3-6 荷重時痛と滑走性の改善度の散布図.....	73
図 3-7 伸張時痛と滑走性の改善度の散布図.....	74

第 4 章

表 4-1 調査項目の相関関係.....	75
表 4-2 滑走性関連因子の重回帰分析.....	76
図 4-1 皮膚靱帯の構造.....	77
図 4-2 皮下組織の厚みの違いによる皮膚靱帯の変化.....	78

第 5 章

図 5-1 弾性包帯の装着方法.....	79
図 5-2 実験フローチャート.....	80
表 5-1 対象の基本属性.....	81
表 5-2 メインアウトカムに対する反復測定 2 元配置分散分析と事後検定.....	82
表 5-3 サブアウトカムに対する反復測定 2 元配置分散分析と事後検定.....	83
表 5-4 交互作用を有した項目の反復測定 1 元配置分散分析と事後検定.....	84
表 5-5 比率尺度の調査項目での改善量に対する反復測定 2 元配置分散分析と事後検定.....	85

第1章 背景

1-1 大腿骨近位部骨折の疫学

1-1-1 大腿骨近位部骨折の患者数

内閣府の調査[1]によれば，我が国の総人口は令和2（2020）年10月1日現在で1億2,571万人，65歳以上の高齢者人口は3,619万人となり，総人口に占める割合（高齢化率）も28.8%となっている．超高齢社会の到来に伴い，高齢者の脆弱性骨折が増加し，脊椎椎体・上腕骨近位（肩）・橈骨遠位（手関節）・大腿骨近位（股関節）の発生頻度が高い[2]．特に大腿骨近位部の骨折は患者の日常生活活動や生活の質を著しく低下させるのみならず生命予後も悪化させることが知られている[2]．この大腿骨近位部骨折の2012年における国内での推計発生数は計175,700人（男性37,600人/女性138,100人）と報告されている[3]．さらに2035年には大腿骨近位部骨折の発生数が30万人に増加すると予測されている[4]．同様に，世界的にも大腿骨近位部骨折の発生数は，1990年の170万人から2050年には630万人に増加することが予測されている[5]．すなわち，大腿骨近位部骨折は高齢社会において大きな問題となる疾患のひとつである．

1-1-2 大腿骨近位部骨折に対する外科的治療法

大腿骨近位部骨折は大腿骨頸部骨折と大腿骨転子部骨折に分類される[6]（図1-1）．両骨折は，全身状態に問題が無い場合には手術が推奨されている[2]（図1-2）．手術法は観血的骨接合術と人工骨頭置換術に大別され[6]，骨折型（転位・非転位）（図1-3）に応じて選択される．具体的には，非転位型（Garden分類I・II）の大腿骨頸部骨折の場合は，Hansson pin，Cannulated Cancellous Screw，Sliding Hip Screwの観血的骨接合術が選択される[6]．一方で転位型（Garden分類III・IV）の大腿骨頸部骨折の場合は，骨癒合しにくく，癒合しても大腿骨頭壊死から骨頭圧潰（Late segmental collapse）の発生頻度が高いため人工骨頭置換術が選択されることが多い[2]．これに対して，大腿骨転子部骨折は適切な骨接合を行うことで骨癒合することが多く，骨頭壊死の発生は少ない[2]．そのため，Short femoral nail（ γ -nail）やSliding Hip Screwが用いられる[3]．近年，国内の大腿骨転子部骨折に対する観血的骨接合術は8割以上がShort femoral nail（ γ -nail）での治療であることが報告されている[7]．

1-1-3 大腿骨近位部骨折後の疼痛

疼痛は自発痛と運動時痛に大別される[8]。自発痛はさらに安静時痛と夜間時痛に、運動時痛は収縮時痛、伸張時痛、荷重時痛に細分化されて評価が行われている。大腿骨近位部骨折 54 名を対象とした疼痛の種類別の調査では、理学療法開始時点（術後 8.3 日）で約 20% が安静時痛を訴えるものの、4 週間後には約 5% に減少することが報告されている[9]。一方、歩行などの荷重時痛は理学療法開始 2 週間後で約 70% が疼痛を有し、6 週間後でも約 40% までしか減少しない[9]。さらに 12 週間後の時点でも荷重時痛の発生頻度に変化を認めなかったと報告されている[9]。また、疼痛の発生部位に関しては、大腿外側部における荷重時痛が最も多く、理学療法開始時点で 47.3%（57 名中）を占めていた[10]。さらに退院時でも荷重時の大腿外側部痛は 34.5% の症例で残存することが報告されている[10]。この結果からも、大腿骨近位部骨折後の理学療法では、荷重時の大腿外側部痛を軽減させることが重要となる。

1-1-4 大腿骨頸部骨折と大腿骨転子部骨折の差異（発生数と疼痛の程度）

1998 年から 2000 年の 3 年間の調査によると大腿骨頸部骨折が 47,853 例、大腿骨転子部骨折が 61,632 例であり、大腿骨頸部骨折に比して大腿骨転子部骨折の比率が 1.3 と高値であった[2]。また、年齢別に比較すると 75 歳以下では大腿骨頸部骨折が多く、75 歳以上では大腿骨転子部骨折が多いことが報告されている[3][11]（図 1-4）。

大腿骨転子部骨折は大腿骨頸部骨折と比較して疼痛が重度の場合が多い[12]。特に人工骨頭置換術では、骨折部が人工物に置換されているために骨折部の疼痛は少ない[12]。また、大腿骨頸部骨折後の骨接合術例でも、骨折部の強い疼痛は 1 週間程度で軽減が得られることが多いとされている[13]。大腿骨頸部骨折と大腿骨転子部骨折の疼痛強度が異なる要因は諸説あるが、前述の報告を踏まえると、関節包内骨折であるか否かが関与していると考えられる。大腿骨頸部骨折は関節包内骨折であり、骨折部には骨膜は存在しない。一方、大腿骨転子部骨折は関節包外骨折であり、骨折部には骨膜が存在する。痛みを感知する侵害受容器は主に自由神経終末であり、この自由神経終末は骨膜に多く分布する[14]。したがって、大腿骨転子部骨折では骨膜に由来する疼痛がより強く生じることが推察される。さらに、大腿骨転子部骨折では臀部～大腿部にかけて皮下出血を伴う症例が非常に多い（図 1-5）。骨折に伴い骨折部の緻密質等より出血する。大腿骨転子部骨折は関節包外の骨折のために、この出血が臀部や大腿部へ流入することが考えられる。このような状況に手術や不動も加わり、皮下出血を生じた組織は、結合組織が増生や肥厚などの組織学的な変化が生じることが報

告されており[15]、疼痛増強に関連することが予測される。

1-2 大腿骨近位部骨折後の歩行の特徴

1-2-1 歩行周期と歩行の相の分類

歩行の特徴を捉えるためには歩行周期および歩行の相を理解する必要がある。歩行周期は立脚期と遊脚期の2つの期に分けられ、両下肢が接地している期間を両脚支持期と規定されている[16] (図 1-6)。また、正常歩行の床接地期間は立脚期が60% (内20%は両脚支持期)、遊脚期が40%を占める[16]。さらに歩行周期は機能的に8つの相 (初期接地 - 荷重応答期 - 立脚中期 - 立脚終期 - 前遊脚期 - 遊脚初期 - 遊脚中期 - 遊脚終期) に分類される[16] (図 1-7)。各相での基本的な課題として、初期接地と荷重応答期は下肢の荷重の受け継ぎ、立脚中期・立脚終期・前遊脚期は単下肢支持、遊脚初期・遊脚中期・遊脚終期は遊脚下肢の前進とされている[16] (図 1-6)。特に下肢の荷重の受け継ぎが歩行周期の中で重要な課題であるとされている[16]。

1-2-2 歩行中の床反力ベクトルと各関節モーメント

初期接地と荷重応答期では、床反力ベクトルが股関節の前方と膝関節の後方を通過する (図 1-8a) [16]。そのため、これらの相では股・膝関節の屈曲の制御のために大殿筋・中殿筋、外側広筋・内側広筋・中間広筋の筋活動が高まる[16] (図 1-9a)。次の相である立脚中期前半での床反力は、膝関節のわずかに後方で、足関節の前方を通過する (図 1-8b) [16]。そのため、荷重応答期から引き続き外側広筋・内側広筋・中間広筋が活動し、また足関節の背屈を制御するために下腿三頭筋の活動が開始される[16] (図 1-9b)。立脚中期後半での床反力は、足・膝関節の前方かつ股関節の後方を通過する。したがって、立脚中期前半から引き続き下腿三頭筋が活動する (図 1-8b)。一方で、膝関節・股関節の筋活動はほぼ発生しない[16]。立脚終期での床反力ベクトルは股関節の後方、膝関節の前方、足関節のかなり前方を通過する (図 1-8c)。そのために、この相では下腿三頭筋の筋活動が最も高くなる[16] (図 1-9c)。なお、股関節や膝関節の安定性は脛骨に対するヒラメ筋の作用によって受動的に得られると言われている[16]。

1-2-3 大腿骨近位部骨折を中心とした股関節障害の歩行評価法と歩行の特徴

一般的に臨床現場では、歩行の評価として歩行速度の計測が用いられている[17]。歩行速

度の計測は簡便で妥当性・再現性が高い変数である[18]. そのほかにも, Functional Ambulation Category[19], GAITRite[®]など歩行解析システムを用いた両脚支持時間や歩行比, 歩行周期変動の時空間項目の調査が報告されている[20]. また, 近年 Insole force sensors を用いた歩行立脚期中の荷重量の計測も行われている[21].

これらの調査結果から, 大腿骨近位部骨折後の歩行は歩行速度の遅延に加えて両脚支持期の増加や歩行の周期変動や非対称性が大きいといった特徴を有することが明らかとなっている[20]. その中でも, 大腿骨転子部骨折はこれらの歩行の特徴が生じやすく[22], 立脚期全体での下肢荷重量も低下する[21]. 歩行速度の低下は, 両脚支持期の延長[23]や初期接地～荷重応答期での床反力の減少とも関連する[16] (図 1-10). 特に, 大腿骨転子部骨折後の歩行時痛 (荷重時痛) は, 床反力のファーストピーク (図 1-11) である初期接地から荷重応答期に生じることが多い. つまり, 初期接地から荷重応答期での十分な荷重が歩行における重要な課題であると考えられる.

1-3 大腿外側部の解剖及び結合組織について

疼痛発生頻度が高く, 皮下出血なども呈する大腿外側部の構造は, 表層から皮下組織 (表皮・浅筋膜・真皮) - 腸脛靭帯 (大腿筋膜) - 外側広筋 - 中間広筋が位置する (図 1-12). また, 大腿筋膜には筋間中隔を介して外側広筋のみならず, 大殿筋にも連結している[24]. 大腿筋膜は大殿筋の収縮により近位方向へ, 外側広筋の収縮により遠位方向へ牽引される[25]. このように疼痛に関連する可能性のある筋は大腿外側部だけでなく, 筋膜など結合組織を介して, その他の筋の影響を受けることも考えられる.

結合組織は器官の内部など身体の至るところの間隙に入り込んでおり, 上皮組織を裏打ちする[26]. また, 結合組織は各種の細胞・組織・器官を支持するほか, 各種器官の構成要素となっている[26]. 結合組織の線維配列構造は, 疎性結合組織と密性結合組織に分けられる[26]. 疎性結合組織は高度に水分を含んだヒアルロン酸などの基質に富み (図 1-13), 一般に外皮の直下・筋の間およびその他の動きやすい場所に存在する[26] [27]. 一方, 密性結合組織は可動性よりも強さが重要な場所に存在することが知られている[26]. このように筋膜は密性結合組織と疎性結合組織の層が重なり形成されており, 大腿筋膜では2~3層で構成される[28] (図 1-14). これら筋膜は浅筋膜 (皮下筋膜) と深筋膜に区別され, 筋外膜とはゆるく結合している[26]. このことから筋と筋膜の間の滑走性は大きく, 筋収縮の際には摩擦を軽減させる働きがあるとされている[26]. 大腿骨転子部骨折後には, 手術や不動により

結合組織の組織学的変化が生じることで[15]、滑走性の低下が予測される。このような局所病態に加え、歩行時の初期接地～荷重応答期で大腿筋膜（腸脛靭帯）に付着する大殿筋や外側広筋が収縮する[16]。そのため、大腿外側部には過度な筋膜伝達が生じ、大腿外側部痛を助長している可能性がある。つまり、組織間の滑走性の低下が一因ではないかと考えられる。

1-4 組織間の滑走性評価の現状と問題点

諸家により滑走性の重要性が述べられ、Fascial manipulation [29]や組織間リリース[30]など滑走性に特化した治療手技も散見する。一方で「滑走性」という言葉の定義は不明確である。大工谷は何層にも重なった筋の各々や筋と隣接する結合組織などの軟部組織が、相互にどのくらいの自由度を有しているかを意味すると述べている[31]。しかし、一般化された定義ではない。また、その評価方法は、筋を把持し、徒手的に動かすことで滑走性を評価している（図 1-15a）[32]。この評価方法は非常に簡便であり、臨床的ではあるものの、定量化することが困難である。定量化するという点では、近年、超音波画像診断装置を用いた筋の可視化が可能となった。この技術を用いて、市橋らは下腿三頭筋の筋腱移行部をランドマークとしてストレッチによる筋の移動量を計測している（図 1-15b）[33]。しかしながら、この方法は筋腱移行部などのランドマークが存在する部位でのみ計測することが可能であることが課題である。そこで、この問題を解決する評価手法として、市川ら[34]は大腿外側部の外側広筋を対象に筋膜と筋線維の交点を追跡する方法による定量化を試みている（図 1-15c）。しかしながら、膝関節屈曲の運動時には外側広筋は長軸のみならず、短軸方向へ筋が動くことが報告されている[35]。したがって三次元的な筋動態を定点で追うことには限界があることが予測されるため、滑走性の定義も不明確なままになっていると考えられる。

1-5 組織間の滑走性評価方法の開発

1-5-1 流体画像解析を用いた滑走性の評価と従来法での課題

相互相関アルゴリズムは超音波画像の白黒の濃淡を追跡しながら組織の動きをベクトルマッピングすることで、組織の動態評価する手法である[36]（図 1-16）。この手法は医学系以外では、主に河川の流れの分析[37]や土砂崩れの分析[38]に用いられている。また、医療に関連する応用方法としては、脳動脈瘤に対する血流解析[39]や消化管運動の可視化に用いたものが存在する[40]。

この手法の特徴は筋腱移行部の交点のようなランドマークがない部位においても組織の

動態を定量化できる点にある。また長軸方向への動態評価をする上で、より効果的な手法であると考えられる。一方、これらの手法を用いた先行研究では正中神経の滑走評価[36]や長母趾屈筋の滑走評価[41]は存在するが、いずれも組織の単体評価であり、組織間の滑走性評価としては不十分である。

1-5-2 組織間の滑走性評価法の確立

そこで、膝関節の屈伸運動中の大腿外側部における組織動態を超音波画像診断装置で撮像し、流体画像解析の手法を応用してベクトルマッピングされた動画を構築した(図 1-17)。腸脛靭帯を一部含む皮下組織と外側広筋表層の 2 か所に関心領域を設定し(図 1-18)、各々の流速を計測、その流速データを時系列に配列した(図 1-19)。この時系列データより相関係数を算出し、滑走係数と規定した(図 1-20)。滑走係数が高いほど各組織が運動していることを示し、組織間の滑走性が低下しているものと考えられた。対して、滑走係数が低い場合は各組織が独立して動くことを意味し、滑走性が高いと定義づけられた。このような手法を用いて大腿外側部における組織間の滑走性の定量的評価を確立した[42]。

1-5-3 健常者での組織間の滑走性に関連する因子

組織間の滑走性には、疎性結合組織内のヒアルロン酸が関連すると報告されている[26][27]。そこで、組織間の滑走性に影響する因子を明らかにすることを目的に、結合組織厚と組織間の滑走性の関連を調査した。まず、超音波画像診断装置で撮像した大腿外側部の画像から結合組織厚(皮下組織厚、密性結合組織厚、疎性結合組織厚、全筋膜厚、密性結合組織率)をImage J(米国国立衛生研究所)(図1-21)で計測した。次いで、計測した結合組織厚と組織間の滑走性の関連性をPearson積率相関係数およびステップワイズ重回帰分析を用いて調査した。Pearson積率相関係数の結果、組織間の滑走性は皮下組織厚($r=0.72$, $p<0.05$)、密性結合組織厚($r=0.53$, $p<0.05$)および密性結合組織比率($r=0.54$, $p<0.05$)と中等度の正の相関関係を示した。ステップワイズ重回帰分析においても、滑走性は皮下組織厚、密性結合組織厚および比率が選択された。以上の結果より、健常者における組織間の滑走性には皮下組織厚と密性結合組織厚および比率が重要であることが明らかとなった[42]。

1-6 まとめ

高齢社会においては、大腿骨頸部骨折に比して大腿骨転子部骨折の発生頻度が高い。加えて大腿骨転子部骨折は荷重時の大腿外側部痛の発生頻度が高く、また歩行能力が低下しやすい特徴を有する。大腿骨転子部骨折後の大腿外側部痛の発生要因は明らかではないが、大腿骨転子部骨折後の大腿外側部痛には、組織間の滑走性低下が関連することが予測される。そこで、流体画像解析の手法を応用し、組織間の滑走性評価法を確立してきた。さらに、健康者で組織間の滑走性に関連する因子として、皮下組織厚や密性結合組織厚および比率の重要性を明らかにした。しかしながら、大腿骨転子部骨折後の大腿外側部痛と組織間の滑走性の関連は明らかではない。そのため、大腿骨転子部骨折例での組織間の滑走性について検討する必要がある。加えて、大腿骨転子部骨折例での組織間の滑走性に関連する因子の検討や効果的な理学療法介入の確立が必要である。

第2章 研究の目的

2-1 大腿骨転子部骨折後における組織間の滑走性と大腿外側部痛の関係

2-1-1 研究の仮説

大腿骨転子部骨折後の手術や不動により腫張が生じやすい[43]。さらに、結合組織の組織学的変化が生じることで[15]、滑走性の低下が予測される。このような局所病態に加え、歩行時の初期接地～荷重応答期で大腿筋膜（腸脛靭帯）に付着する大殿筋や外側広筋が収縮する[16]。そのため、大腿外側部には過度な筋膜伝達が生じ、大腿外側部痛を助長している可能性がある。以上より荷重時の大腿外側部痛が重度な例ほど、組織間の滑走性が有意に低下する。また、組織間の滑走性が改善することで、荷重時の大腿外側部痛も軽減するのではないかと仮説を立てた。

2-1-2 研究の目的

大腿骨転子部骨折後の大腿外側部痛は、術後理学療法の大きな問題である。大腿骨転子部骨折後の大腿外側部痛の一因として、組織間の滑走性が重要であると考えている。しかしながら大腿外側部痛と組織間の滑走性の関連は明らかではない。そこで、本研究は大腿骨転子部骨折後における荷重時の大腿外側部痛と組織間の滑走性の関係を調査することを目的とした。

2-2 大腿骨転子部骨折後における組織間の滑走性に関連する因子の検討

2-2-1 研究の仮説

大腿骨転子部骨折後では大腿部の腫張が強く[43]、皮下組織の肥厚が予測される。加えて疎性結合組織内のヒアルロン酸が滑走性に関連すると報告されている[44]。これら疎性結合組織を含む筋膜の密性化により、滑走性が低下するのではないかと仮説を立てた。また、滑走性が低下することで筋の伸張性や出力に影響を及ぼすのではないかと考えられる。

2-2-2 研究の目的

健常者で組織間の滑走性に関連する因子として、皮下組織厚や密性結合組織厚および比率の重要性が明らかとなっている[42]。しかしながら、大腿骨転子部骨折後においても同様の因子が組織間の滑走性に関連するかは不明である。また皮下組織厚などの結合組織厚

と荷重時の大腿外側部痛や理学療法評価として一般的である筋力、関節可動域との関連も明らかではない。そこで、本研究では大腿骨転子部骨折後での組織間の滑走性に関連する因子を明らかにすることである。

2-3 大腿骨転子部骨折後の大腿外側部痛および組織間の滑走性に対する弾性包帯を用いた圧迫の効果検証

2-3-1 研究の仮説

健康者を対象とした研究により、組織間の滑走性には皮下組織厚が関連することが明らかとなっている[42]。また、弾性包帯を用いた圧迫は腫張と疼痛が軽減すると報告されている[45]。そのため、弾性包帯を用いた大腿部の圧迫は皮下組織厚を減少させ、さらに圧迫下での運動療法を実施することで組織間の滑走性の改善と大腿外側部痛が軽減および歩行能力の向上に繋がると仮説を立てた。

2-3-2 研究の目的

大腿骨近位部骨折後の理学療法介入では、骨性疼痛に対する経皮的電気神経刺激（Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation; TENS）[46]、炎症性疼痛には寒冷療法（Cryotherapy）の介入効果が報告されている[47]。しかしながら、組織間の滑走性に対する介入方法は明らかとなっていないのが現状である。そこで、本研究では、荷重時の大腿外側部痛を呈した大腿骨転子部骨折例に対する弾性包帯を用いた大腿部の圧迫の効果を検証することを目的とした。

2-4 研究目的のまとめ

本研究では、大腿骨転子部骨折例を対象に術後の「組織間の滑走性と大腿外側部痛の関係」を明らかにすること、次いで「組織間の滑走性に関連する因子の検討」、そして効果的な介入方法の検討のために「大腿外側部痛および組織間の滑走性に対する弾性包帯を用いた圧迫の効果検証」といった3つの章で構成した。以上より、大腿骨転子部骨折後の大腿外側部痛に対する理学療法を確立することを目的とした。

第3章 大腿骨転子部骨折後の大腿外側部痛と組織間の滑走性の関係

3-1 目的

本研究の目的は大腿骨転子部骨折後における荷重時の大腿外側部痛と組織間の滑走性の関係を調査することである。

3-2 方法

3-2-1 対象

大腿骨転子部骨折を受傷し、観血的骨接合術 (γ -nail) を施行した 27 名を対象とした。包含基準は荷重時に大腿外側部に疼痛を有すること、除外基準は医師の指示により荷重制限を有するもの、重度の認知症とした。本研究では、これらの基準を満たした 23 名を対象とした。

本研究の実施にあたり所属機関の学術研究委員会・倫理審査部会 (受付番号 2017-015) の承認を得て実施した。対象者には対象者の権利と研究の目的を説明し同意を得た。

3-2-2 調査時期および調査項目

調査時期は術後約 3 週目 (初期) と退院前の術後約 11 週目 (最終) に実施した。調査項目は、基本属性として年齢、性別、骨折型 (Evans 分類に基づく安定もしくは不安定)、初期評価までの期間、入院期間を調査した。加えてメインアウトカムは、大腿外側部における組織間の滑走性、大腿外側部痛 (安静時痛・圧痛・伸張時痛・収縮時痛・荷重時痛) を調査した。

3-2-3 組織間の滑走性評価法

使用機器は超音波画像診断装置 (Canon Aplio500), 12 MHz リニアプローブ (PLT1204ST), 流体画像解析ソフト (Flow PIV, 株式会社ライブラリー社製) を使用した。計測肢位は側臥位での股関節屈曲 45° ・内外転中間位 (図 3-1), 大転子から大腿骨外側上顆を結ぶ線上かつ中点にて自作のプローブ固定装置 (図 3-2) を使用し, プローブを長軸方向に固定した (図 3-3)。なお, 自作のプローブ固定装置は安定して撮像が可能であることを確認した[48]。運動課題は, 理学療法士がデジタルメトロノームの 40 回/分のリズムに準じて, 他動にて膝関節屈伸運動 (膝関節 $-10\sim 100^\circ$) を反復して実施した (図 3-4)。他動運動時には対象者が

脱力していることを確認し、超音波画像診断装置で腸脛靭帯・外側広筋の動態を撮像した。なお、画像診断装置の設定は B mode, Gain 77/Dynamic range 55/Frame rate 60/Focus は腸脛靭帯とし、撮像設定を統一した (図 3-5)。撮像したエコー画像に流体画像解析ソフト Flow PIV (追跡ピクセル 15×21, フレームインターバル 2) を応用し、ベクトルマッピングを実施した (図 1-17)。本研究での組織間の滑走性を定量化するための解析手法は、このベクトルマッピングした動画より、腸脛靭帯を一部含む皮下組織と外側広筋表層の 2 か所に関心領域を設定した (図 1-18)。その上で各々の流速を計測し、その流速データを時系列に配列した (図 1-19)。この時系列データより相関係数を算出し、滑走係数と規定する (図 1-20)。滑走係数が高いほど各組織が連動していることを示し、組織間の滑走性が低下しているものと考えられた。対して滑走係数が低い場合は各組織が独立して動くことを意味し、滑走性が高いと定義づけた。

なお、本解析手法における検者内級内相関係数は 0.92 (SEM: 0.04)、検者間級内相関係数 0.83 (SEM: 0.06) であり、Landis JR の基準[49]に準じ、良好な再現性を確認することができた。また最小可検変化量 (Minimal Detectable Change 95; MDC₉₅) は検者内で 0.11、検者間では 0.17 であった。

3-2-4 大腿外側部の疼痛評価

疼痛の評価は 0~10 までの 11 段階で疼痛の程度を評価する Numerical Rating Scale (NRS) を用いて、大腿外側部における安静時痛・圧痛・伸張時痛・収縮時痛・荷重時痛を調査した。

3-2-5 統計学的検討

荷重時における大腿外側部痛が NRS4 以下を疼痛中等度群 (n=10)、NRS5 以上を疼痛重度群 (n=13) の 2 群に分類した。その上で基本属性である年齢、性別、骨折型、初期評価までの期間、入院期間の 2 群比較を Mann-Whitney *U* test と chi-square test を用いて比較した。次いで、メインアウトカムである大腿外側部痛と組織間の滑走性の 2 群間比較は、初期と最終のそれぞれの時期で Mann-Whitney *U* test を用いた。群内での初期と最終の比較は Wilcoxon signed rank test を実施した。加えて組織間の滑走性と荷重時の大腿外側部痛の改善度 (最終から初期の値を除いて算出) の関連性を調査するために、全例 (n=23) を対象に Spearman rank correlation coefficient を用いて検討した。統計学的有意水準は 5% 未満とし、統計ソフトは IBM SPSS ver.24.0 (IBM Corporation, New York, USA) を使用した。

3-3 結果

2群間での基本属性には有意差を認めなかった(表3-1)。疼痛の重症度別での2群間の比較では、初期において疼痛重度群における組織間の滑走性が有意に低値を示し($P = 0.36$)、荷重時痛($P < 0.01$)・伸張時痛($P = 0.22$)・収縮時痛($P = 0.47$)が有意に高値を示した(表3-2)。一方で、最終評価時には、全ての項目で有意差を認めなかった(表3-2)。次いで、疼痛中等度群・疼痛重度群のそれぞれの群内における初期と最終評価時点での比較では、疼痛中等度群での安静時痛・収縮時痛、疼痛重度群での安静時痛を除き、その他の項目は経過に伴う有意な改善が得られた(表3-3)。最後に、全例を対象とした各項目の改善度の結果を示す(表3-4)。相関分析の結果、組織間の滑走性の改善度は荷重時($r = 0.49, P < 0.05$)および伸張時($r = 0.42, P < 0.05$)の大腿外側部痛と有意な正の相関関係を示した(表3-5, 図3-6, 図3-7)。

3-4 考察

3-4-1 本研究結果のまとめ

本研究は大腿骨転子部骨折後における荷重時の大腿外側部痛と組織間の滑走性の関係を明らかにすることを目的とした。結果、荷重時の大腿外側部痛が重度な群ほど、収縮時痛と伸張時痛も有意に強く、組織間の滑走性も低下していることが明らかとなった。また、組織間の滑走性と大腿外側部における荷重時痛および伸張時痛の改善度の間にも有意な正の相関関係を有することが分かった。

3-4-2 荷重時痛の要因および組織間の滑走性との関連とその妥当性

疼痛の重症度別での2群間の比較において、重度疼痛群は有意に収縮時痛と伸張痛が強いことが示された。荷重時の疼痛には、骨性の疼痛や筋の収縮時痛・伸張時痛が含まれると考えられる。骨性疼痛に関しては、大腿骨転子部骨折の術後痛は1~3週で軽減することが知られている[13]。この疼痛が軽減には、Coldwellの分類より大腿骨転子部は4週で仮骨形成がなされることが関与していると考えられる。このことから、本研究の対象は術後約3週を経過した症例であり、骨性疼痛の影響は少ないと考えられた。つまり、本研究対象の初期評価時点での大腿外側部における荷重時痛は収縮時痛および伸張痛が主体であると考えられた。

臨床的には、歩行時の初期接地から荷重応答期にかけて生じる荷重時痛を多く経験する。

その要因として、この相では大殿筋と外側広筋が同時に収縮することが知られている[16]. 大殿筋は殿筋粗面だけでなく大腿筋膜にも付着し、外側広筋も外側筋間中隔を介して大腿筋膜に連結を持つ[28]. このように、これらの筋が収縮すると、大殿筋は大腿筋膜を近位へ牽引し、外側広筋は大腿筋膜を遠位へ牽引すると報告されている[25]. 本研究で調査した収縮時痛は股関節外転運動を中心とした痛みであった. 従来より、大腿骨近位部骨折後には殿筋群など股関節の伸展筋力が低下し、その代償として大腿四頭筋の活動が高まることも報告されている[50]. つまり、大腿骨転子部骨折後の荷重時における大腿外側部痛は、大殿筋および外側広筋が同時に活動することで大腿外側部に伸張ストレスが加わることが一因と考えられた. この大腿外側部における伸張ストレスは、術後の腫脹や熱感、皮下出血に伴う結合組織の過度な連結が生じることで、より助長される. つまり組織間の滑走性の低下が荷重時痛に関連すると考えられる. これは疼痛の重症度別での2群間の比較結果より、疼痛と同様に組織間の滑走性においても疼痛重度群で有意に高値であり、滑走性が低下していることが示された. この結果からも、荷重時痛が重度群においては滑走性が低下し、疼痛を助長している可能性が示唆された.

3-4-3 組織間の滑走性と大腿外側部痛の改善の関係について

術後11週目(退院時)においては、荷重時痛を含めてすべての疼痛および組織間の滑走性は2群間での有意な差は認められなかった. このことから、疼痛が軽減するとともに滑走性は改善する可能性が考えられた. この点に関しては全例を対象とした各項目の改善度として、組織間の滑走性の改善度と疼痛の改善度の相間関係を検討している. その結果から、組織間の滑走性の改善度と荷重時痛および伸張痛の間に有意な正の相関が認められた. つまり、滑走性の改善は疼痛軽減に繋がることが示された. 特に荷重時痛の中でも伸張痛の関与が大きいと考えられた.

3-4-4 本研究の臨床的意義

臨床的には大腿外側部痛に対して、持続伸張を組み合わせた運動療法を行うことも多い. しかしながら、これらの介入にて症状が十分軽快しない症例も頻繁に経験する. これは本研究の結果からも、大腿外側部の疼痛は単なる伸張性の低下ではなく、組織間の滑走性が関与していた可能性が考えられた. 今後は、組織間の滑走性に対して効果的な治療法を開発することが重要であると考えられた.

3-5 本研究の限界

本研究の限界として、術創部の影響から、疼痛がより強い術後早期での検討が行えていない。したがって、この滑走性の問題が急性痛からの延長であるのか、また歩行など活動性が高まることで発生する問題であるのかは不明である。また荷重時での疼痛と滑走性の関連を検討しているが、滑走性の評価は非荷重時のみでの検討であり、荷重条件下での滑走性については検討出来ていないことも課題である。最後に本研究のサンプルサイズも限界であると考えられる。今後は更に症例数も増やしながら介入の検討していく必要がある。

3-6 まとめ

術後約 3 週で疼痛が重度な症例は組織間の滑走性は低下していることが分かった。組織間の滑走性の改善率は荷重時痛の改善と関連することが示された。

第4章 大腿骨転子部骨折後の組織間の滑走性に関連する因子の検討

4-1 目的

大腿骨転子部骨折の術後は、大腿部の腫張が強いことから、皮下組織の肥厚やヒアルロン酸の分布する筋膜の密性化により滑走性が低下するのではないかと仮説を立てた。また、滑走性が低下することで筋の伸張性や出力に影響を及ぼすのではないかと考えられた。そこで、これらの仮説を証明するために、本研究は、大腿骨転子部骨折の術後症例に頻発する大腿外側部痛の一因として考えられる滑走性に関連する因子を調査することを目的とした。

4-2 方法

4-2-1 対象

2017年4月から2018年12月の間に大腿骨転子部骨折を受傷し、観血的骨接合術を施行した30名のうち、免荷の指示がある2例および術式がIPT NAIL SYSTEM（ホムズ技研）以外の1例を除いた27例（男性5名、女性22名、平均年齢； 86.1 ± 5.0 歳、身長； 150.8 ± 7.0 cm、体重； 45.7 ± 8.5 Kg）を対象とした。対象者の骨折型はEvans分類を用い、不安定型9名、定型18名であり、後にLag screwの過度なslidingやcut outなどの問題は全例において認めなかった。

対象者には書面で研究の趣旨と目的を説明し、同意を得た。なお、本研究は所属大学倫理審査委員会の承認を得て実施した（承認番号2017-015）。

4-2-2 調査時期と評価項目

調査時期は回復期リハビリテーション病棟への転棟直後（術後 24.4 ± 10.7 日）とし、項目は大腿外側部における組織間の滑走性評価および大腿外側部の皮下組織厚、筋膜厚（全筋膜厚・密性結合組織厚・疎性結合組織厚・密性結合組織比率）、筋力として股関節外転および膝関節伸展、関節可動域として股関節屈曲・内転および膝関節屈曲可動域、大腿外側部痛を調査した。

4-2-3 組織間の滑走性の評価方法

使用機器は超音波画像診断装置(Canon Aplio500), 12 MHz リニアプローブ(PLT1204ST),

流体画像解析ソフト (Flow PIV,株式会社ライブラリー社製) を使用した。計測肢位は側臥位での股関節屈曲 45° ・内外転中間位 (図 3-1), 大転子から大腿骨外側上顆を結ぶ線上かつ中点にて自作のプロープ固定装置 (図 3-2) を使用し, プロープを長軸方向に固定した (図 3-3)。運動課題は, 理学療法士がデジタルメトロノームの 40 回/分のリズムに準じて, 他動にて膝関節屈伸運動 (膝関節 $-10\sim 100^{\circ}$) を反復して実施した (図 3-4)。他動運動時には対象者が脱力していることを確認し, 超音波画像診断装置で腸脛靭帯・外側広筋の動態を撮像した。撮像したエコー画像に流体画像解析ソフト Flow PIV (追跡ピクセル 15×21 , フレームインターバル 2) を応用し, ベクトルマッピングを実施した (図 1-17)。本研究での組織間の滑走性を定量化するための解析手法は, このベクトルマッピングした動画より, 腸脛靭帯を一部含む皮下組織と外側広筋表層の 2 か所に関心領域を設定した (図 1-18)。その上で各々の流速を計測し, その流速データを時系列に配列した (図 1-19)。この時系列データより相関係数を算出し, 滑走係数と規定した (図 1-20)。滑走係数が高いほど各組織が連動していることを示し, 組織間の滑走性が低下しているものと考えられた。対して滑走係数が低い場合は各組織が独立して動くことを意味し, 滑走性が高いと定義づけた。

4-2-4 結合組織厚の計測法

本研究では, 結合組織厚の計測を先行研究に準じて[42]以下のように実施した。側臥位での膝関節伸展 -10° の肢位にて, 大転子と大腿骨外側上顆を結ぶ中点にて大腿外側部の結合組織を撮像した。撮像した画像は Image J (米国国立衛生研究所) を用いて, 皮下組織厚・密性結合組織厚・疎性結合組織厚・全筋膜厚を計測し (図 1-21), また, これらの計測値を用いて密性結合組織比率 (密性結合組織厚/全筋膜厚 $\times 100$) を算出した。

4-2-5 大腿外側部痛の評価法

大腿外側部痛に関しては荷重時(歩行時)における疼痛の程度は NRS を用いて調査した。

4-2-6 筋力評価

筋力は, 徒手筋力計モービィ (SAKAI med) を使用し, 先行研究に準じて膝関節伸展は端坐位, 股関節外転筋力は背臥位にて各々 3 回ずつ計測し, 最大値 (KgF) を採用した [51][52]。その後, 大腿長・下腿長・体重を計測し, 体重比トルク値として下記の計算式

(1), (2) で算出した。なお, 体重比トルク値はモーメントアームや体重が筋力へ与える

影響を考慮して正規化するために用いる手法である[53].

$$\text{体重比股関節外転トルク値 (Nm/Kg)} = \text{股関節外転最大値} \times \text{大腿長} / \text{体重} \quad (1)$$

$$\text{体重比膝関節伸展トルク値 (Nm/Kg)} = \text{膝関節伸展最大値} \times \text{下腿長} / \text{体重} \quad (2)$$

4-2-7 関節可動域評価

股関節屈曲・内転および膝関節屈曲の可動域はゴニオメーターを用いて5° 間隔で計測した。

4-2-8 統計学的検討

解析は Spearman 順位相関係数を用いて滑走性・結合組織厚・荷重時の大腿外側部痛・筋力（股関節外転・膝伸展）・関節可動域（股関節屈曲・内転，膝関節屈曲）それぞれの相関関係を検討した。さらに滑走性を従属変数とし，独立変数には滑走性と有意な相関関係を認めた項目として，重回帰分析を実施した。また，多重共線性効果を監視するために，分散拡大係数（variance inflation factor ; VIF）を計算した。統計ソフトはIBM SPSSver.24.0（IBM Corporation, New York, USA）を使用した。

4-3 結果

4-3-1 計測結果

計測結果，滑走係数（ r ）は 0.56 ± 0.11 ，皮下組織厚 4.9 ± 3.0 mm，疎性結合組織厚 0.4 ± 0.2 mm，密性結合組織厚 1.0 ± 0.3 mm，全筋膜厚 1.3 ± 0.4 mm，密性結合組織比率 $73.8 \pm 5.9\%$ ，大腿外側部痛は $\text{NRS} 5.2 \pm 2.2$ ，筋力は膝関節伸展 6.1 ± 2.6 Nm/Kg，股関節外転 3.9 ± 2.0 Nm/Kg，関節可動域は股関節内転 $11.1 \pm 3.4^\circ$ ，股関節屈曲 $101 \pm 9.3^\circ$ ，膝関節屈曲 $129.1 \pm 18.2^\circ$ ，大腿外側部痛（NRS） 5.2 ± 2.2 であった。

4-3-2 統計結果

Spearman 順位相関係数より、滑走性は皮下組織厚（ $r=0.58, p < 0.01$ ）・密性結合組織比率（ $r=0.41, p < 0.01$ ）・大腿外側部痛（ $r=0.39, p < 0.05$ ）の間に有意な相関関係を認めた（表 4-1）。また，重回帰分析の結果より皮下組織厚と密性結合組織比率は，滑走性に有意に関連する独立変数として選択された（表 4-2）。

4-4 考察

4-4-1 本研究結果のまとめ

本研究の目的は、大腿骨転子部骨折における滑走性を低下させる要因を明らかにすることである。実験結果より、滑走性は皮下組織厚が肥厚し、密性結合組織比率が増加するほど低下すること、大腿外側部痛は皮下組織厚が肥厚するほど悪化することが明らかとなった。また、理学療法にて頻繁に実施する評価項目である関節可動域や筋力の間で相関関係は認めなかった。

4-4-2 先行研究での大腿外側部の結合組織構造と滑走性や疼痛の関係

組織間の滑走性と皮下組織厚、密性結合組織比率の関係において、Stecco らは大腿筋膜の構造について調査し、密性結合組織および疎性結合組織の層から構成されていること、さらに疎性結合組織内のヒアルロン酸が滑走性において重要であることを報告している[27]。また、健常者での滑走性に関連する因子として、密性結合組織厚・比率の筋膜の因子のみならず皮下組織厚が関連することを報告している[42]。本研究での大腿骨転子部骨折後においても、筋膜の要素である密性結合組織比率のみならず皮下組織厚が滑走性に重要な因子であることが明らかとなった。また滑走性と疼痛の関係において、Stecco は頸部痛や腰背部痛を対象に疎性結合組織厚と疼痛の関係することを示し、滑走性との関連があると考察している[44]。本研究結果からも密性結合組織比率の増加は滑走性の低下に関連する要因であった。密性結合組織比率は疎性結合組織厚と負の相関関係を認めている。つまり、密性結合組織比率の増加は、筋膜の密性化を意味しており、ヒアルロン酸の減少を示している。このことは、滑走性においてヒアルロン酸が重要であるという Stecco らの先行研究[44]を支持する結果であった。しかしながら、この密性結合組織比率は大腿外側部痛とは関連せず異なる結果であった。また、単相関において滑走性と大腿外側部痛が関連することを報告していたが[54]、重回帰分析の結果、滑走性と大腿外側部痛は関連しないことが明らかとなった。その一方で、皮下組織厚は大腿外側部痛と関連する因子であった。つまり、大腿骨転子部骨折後に皮下組織の肥厚が生じることで滑走性が低下し、大腿外側部痛に繋がることを示していると考えられた。以上のことから大腿外側部痛に繋がる滑走性を考える上で皮下組織厚が重要な因子であることが明らかとなった。

4-4-3 結合組織厚やその他の調査項目と滑走性における妥当性

皮下組織の肥厚と滑走性低下には、皮下組織の構造が関係していると考えられる。皮下組織の解剖学的構造は、中島らが皮下組織を浅筋膜が明瞭な二層構造、浅筋膜が不明瞭な二層構造、ソリッド構造、アンカー構造の4つのタイプに分類し、大腿外側部は浅筋膜の不明瞭な二層構造であると報告している[55]。皮下組織構造の深層は潤滑脂肪筋膜システムと呼ばれ、可動性に富んでおり[55]、潤滑脂肪筋膜システム内では真皮・浅筋膜・深筋膜の間を垂直に連結する皮膚靭帯が存在する[55][56] (図 4-1)。したがって、皮下組織の肥厚は皮膚靭帯の緊張を高めると推察される。皮膚靭帯の緊張が高まった状態で、本研究の運動課題である膝関節の屈伸運動が実施されると、外側広筋の表層に位置する深筋膜と連結する皮膚靭帯を介して皮下組織も連動することが考えられた (図 4-2)。つまり、皮下組織の腫脹による皮膚靭帯の緊張の亢進により、滑走性が低下したと考えられた。

また皮下組織厚は、単相関において大腿外側部痛とも有意な相関関係を示した。つまり、皮下組織が肥厚するほど、大腿外側部痛が強く生じていると考えられた。大腿骨転子部骨折後は大腿部の腫張が強いことが報告されており[43]、術後の腫張の残存が問題となる可能性が高い。この腫張の残存から循環不全が生じ、疼痛閾値を低下させると考えられた。また皮下組織内には皮神経が走行しており、大腿骨転子部骨折の術後に生じる大腿外側部痛の好発部位である外側大腿皮神経の知覚領域と一致する。したがって、皮下組織の連動に伴う滑走性低下は外側大腿皮神経の牽引など疼痛を誘発する可能性も考えられた。

一方で、理学療法を実施する上で重要な要素である関節可動域と筋力との関連においては滑走性と相関関係を認めなかった。関節可動域に関しては、股関節屈曲では大殿筋を中心とした股関節伸展筋の伸張性、股関節内転は中殿筋などの股関節外転筋力の伸張性、膝関節屈曲では外側広筋を中心とした膝伸展筋力の伸張性を示す指標であると考えられた。しかし、本研究結果をふまえると、各筋の伸張性は組織間の滑走性とは独立した因子であり、また大腿外側部痛とも関連しない。つまり、大腿外側部痛を改善させる上では皮下組織に着目した理学療法介入が必要である。一方で、関節可動域制限には筋自体の伸張性改善を図る必要があると考えられた。筋力に関しても、大腿外側部痛の発生要因として、歩行時の初期接地～荷重応答期での同時筋活動が関連していると仮説していることから調査対象とした。しかし本研究結果からは関連性は見出されず、少なくとも各筋の単体かつ **Open Kinetic Chain** での収縮とは関連しないものと考えられた。一方で、股関節外転筋力と膝関節伸展筋力は有意な相関関係を認めている。つまり、大腿骨転子部骨折後に生じる筋力低下は組織間

の滑走性や大腿外側部痛とは関連せず、活動量減少など廃用の要素が大きい可能性が考えられた。

4-4-4 臨床的意義

大腿骨転子部骨折後のリハビリテーションにおいて問題となる滑走性の低下には皮下組織厚が重要であることが明らかとなった。一方で、従来のリハビリテーションでは筋力や関節可動域が重要視されてきたが、滑走性とは関連しないことが分かった。このことから、大腿骨転子部骨折後のリハビリテーションには、皮下組織厚に着目し、超音波画像診断装置を用いた定量的評価にて腫張の遷延を予防する必要性を示すことが出来た。以上のように本研究は大腿骨転子部骨折後のリハビリテーションにおいて新たな視点を加えることができる結果であったと考えられた。

4-5 本研究の限界

本研究の限界は3つある。1つ目は横断研究であり、滑走性と皮下組織厚や密性結合組織比率、大腿外側部痛の因果関係が不明である。2つ目に、症例数が少なく疼痛の程度による違いなどの詳細が検討できていない。そして最後に、皮下組織厚の腫張の原因や関連する可能性のある合併症や既往歴などの背景因子が統一されていない点である。今後は、皮下組織の肥厚軽減に着目した理学療法を実施し、効果検証していくことが課題である。

4-6 まとめ

大腿骨転子部骨折の術後症例における滑走性は皮下組織厚および密性結合組織比率が関与することが分かった。また大腿外側部痛においては皮下組織厚のみ関連し、術後の腫張や浮腫との関連性が示唆された。一方で、理学療法評価として一般的に用いられる関節可動域や筋力は滑走性とは関連しないことが明らかとなった。

第 5 章 大腿骨転子部骨折後の大腿外側部痛および組織間の滑走性に対する弾性包帯を用いた圧迫の効果検証 -多施設間共同二重盲検ランダム化並行比較試験-

5-1 目的

弾性包帯を用いた圧迫により腫張と疼痛が軽減すると報告されている[45]。そのため、弾性包帯を用いた大腿部の圧迫は皮下組織厚を減少させ、さらに圧迫下での運動療法を実施することで組織間の滑走性の改善と大腿外側部痛が軽減および歩行能力の向上に繋がると仮説を立てた。そこで、本研究の目的は、大腿骨転子部骨折例に対する弾性包帯を用いた大腿部の圧迫の効果を検証することとした。

5-2 方法

5-2-1 研究デザインとサンプルサイズの推定

研究デザインは 2 週間のフォローアップを伴う多施設間共同での二重盲検ランダム化並行群間比較試験とした。本研究は森ノ宮医療大学学術研究委員会・倫理審査部会の承認を得て実施した（承認番号 2019-087）。また、本研究は事前に臨床試験登録を行なった（UMIN 臨床試験登録：申請番号 20191024-133846）。大腿骨転子部骨折例はブロックランダム化により弾性包帯による圧迫介入群（Compression group）と弾性包帯による偽圧迫介入群（Sham group）に割り付けた。群間の割り付けはすべての評価者および対象者には盲検化したが、介入の特性上、介入するセラピストに関しては盲検化が不可能であった。

サンプルサイズの決定には予備研究に基づき、G Power 3 Software（Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, Version 3.1.9.4. Düsseldorf, Germany）を用い、二元配置分散分析に対する F テストを検出力 0.95、効果量 0.40 で算出した。結果、サンプル数は 32 例と推定された。

5-2-2 対象（倫理的配慮を含む）

対象は 2019 年 6 月から 2021 年 11 月の間に大腿骨転子部骨折を受傷し、所属機関 2 施設で観血的骨接合術（ γ -nail）を施行後に、回復期リハビリテーション病棟へ転棟した 137 名とした。除外基準は指示理解や疼痛の訴えが十分に行えない重度の認知症、大腿外側部痛がないもしくは NRS2 以下、歩行補助具の有無に関わらず 10 m 以上が困難、脳卒中片麻痺を

有する者とした。対象者には研究に参加する前に書面にて十分に説明し、同意を得た上で実施した。

5-2-3 介入，弾性包帯の装着方法

両群とも標準的な理学療法プログラム（関節可動域練習・筋力トレーニング・起立や歩行練習）に加えて，圧迫群は弾性包帯による大腿部の圧迫下（図 5-1）での動作練習を実施した。また，非介入群には介入の有無が分からない様に同様の方法で弾性包帯を緩く巻きつけて動作練習を実施した。なお，両群とも介入回数は1日2回を毎日実施した。

5-2-4 調査項目および実験プロトコール

対象者の基本属性として年齢・性別・骨折型・本実験での初回評価までの期間を調査した。実験プロトコールは，介入前・介入直後・1週間後・2週間後にメインアウトカムを組織間の滑走性，皮下組織厚，大腿外側部痛，歩行パラメータとし，サブアウトカムには下肢筋力，下肢関節可動域を調査した（図 5-2）。

5-2-4-1 組織間の滑走性評価法

使用機器は超音波画像診断装置 (Canon Aplio500), 12 MHz リニアプローブ (PLT1204ST), 流体画像解析ソフト (Flow PIV,株式会社ライブラリー社製) を使用した。計測肢位は側臥位での股関節屈曲 45° ・内外転中間位 (図 3-1), 大転子から大腿骨外側上顆を結ぶ線上かつ中点にて自作のプローブ固定装置 (図 3-2) を使用し, プローブを長軸方向に固定した (図 3-3)。運動課題は, 理学療法士がデジタルメトロノームの 40 回/分のリズムに準じて, 他動にて膝関節屈伸運動 (膝関節 -10~100°) を反復して実施した (図 3-4)。他動運動時には対象者が脱力していることを確認し, 超音波画像診断装置で腸脛靭帯・外側広筋の動態を撮像した。撮像したエコー画像に流体画像解析ソフト Flow PIV (追跡ピクセル 15×21, フレームインターバル 2) を応用し, ベクトルマッピングを実施した (図 1-17)。本研究での組織間の滑走性を定量化するための解析手法は, このベクトルマッピングした動画より, 腸脛靭帯を一部含む皮下組織と外側広筋表層の 2 か所に関心領域を設定した (図 1-18)。その上で各々の流速を計測し, その流速データを時系列に配列した (図 1-19)。この時系列データより相関係数を算出し, 滑走係数と規定した (図 1-20)。滑走係数が高いほど各組織が連動していることを示し, 組織間の滑走性が低下しているものと考えられた。対して滑走係数が低

い場合は各組織が独立して動くことを意味し、滑走性が高いと定義づけた。

5-2-4-2 皮下組織厚の計測法

本研究では、結合組織厚の計測を先行研究に準じて[42]以下のように実施した。側臥位での膝関節伸展 -10° の肢位にて、大転子と大腿骨外側上顆を結ぶ中点にて大腿外側部の結合組織を撮像した。撮像した画像は ImageJ (米国国立衛生研究所) を用いて、皮下組織厚・密性結合組織厚・疎性結合組織厚・全筋膜厚を計測し (図 1-21)、またこれらの計測値を用いて密性結合組織比率 (密性結合組織厚/全筋膜厚 $\times 100$) を算出した。

5-2-4-3 大腿外側部痛の評価

荷重時 (歩行時)・安静時・伸張時・収縮時の大腿外側部痛の程度を NRS を用いて調査した。

5-2-4-4 歩行パラメータ評価

歩行計測は、3 軸加速度計 (MicroStone Corporation, MVP-RF8-HC, sampling frequency, 100 Hz) を先行研究[57]に準じて第 3 腰椎に貼付し、前後 2 m ずつの予備路を合わせて 14 m の平地歩行路の最大努力下の歩行にて実施し、最大歩行速度を計測した。また、得られた加速度波形および慣性センサーと同期した専用のタブレット (ASUSTeK Computer Inc. Nexus 7; sampling frequency, 30 Hz) から 6-10 歩行周期の左右における初期接地と前遊脚期後に生じるつま先離れを同定した。これらを基に、1 歩行周期に対する患側単脚支持期および両脚支持期割合、6-10 歩行周期での各ストライド時間の標準偏差を平均値で除した Stride time variability [58]を算出した。

5-2-4-5 関節可動域評価

股関節屈曲・内転および膝関節屈曲の可動域はゴニオメーターを用いて 5° 間隔で計測した。

5-2-4-6 筋力評価

筋力は、徒手筋力計モービィ (SAKAI med) を使用し、先行研究[51][52]に準じて膝関節伸展は端坐位、股関節外転筋力は背臥位にて各々 3 回ずつ計測し、最大値 (KgF) を採用し

た。

5-2-5 統計学的検討

年齢・性別・骨折型・術後から初回介入までの期間の基本属性は Mann-Whitney *U* test および chi-square test を実施した。Compression group と Sham group における 2 群間での経時的な比較は繰り返しのある二元配置分散分析および事後検定として Tukey 法を用いて比較した。要因・水準間に主効果および交互作用を認めた場合は、要因ごとでの一元配置分散分析と事後検定として Tukey 法を実施した。また、2 群間における個体差のばらつきを是正し、介入前と介入直後・1 週間後・2 週間後の改善を比較するために、比率尺度である歩行速度・皮下組織厚・筋力の調査項目は変化量を介入前の値で除した比率を算出した上で、繰り返しのある二元配置分散分析および事後検定として Tukey 法を用いた。すべての統計学的有意水準は 5%未満とし、統計ソフトは Windows 用 IBM SPSS Statistics 24.0 を使用した。

5-3 結果

2 群間における基本属性および介入前評価を表 5-1 に示す。すべての項目で 2 群間に有意差を認めなかった。繰り返しのある二元配置分散分析の結果、大腿部に対する弾性包帯の介入効果として、組織間の滑走性 ($F = 26.3, P < 0.001$)、荷重時の大腿外側部痛 ($F = 37.8, P < 0.001$)、皮下組織厚 ($F = 3.8, P = 0.044$)、股関節外転 ($F = 5.8, P = 0.018$) および膝関節伸展筋力 ($F = 6.2, P = 0.015$) は群間に有意な主効果を認めた (表 5-2, 5-3)。また、経時的な変化として、組織間の滑走性 ($F = 18.3, P < 0.01$)、荷重時痛 ($F = 31.1, P < 0.01$)、歩行速度 ($F = 3.0, P = 0.033$)、両脚支持期割合 ($F = 3.5, P = 0.019$)、伸張時痛 ($F = 3.3, P = 0.022$)、収縮時痛 ($F = 6.4, P < 0.001$)、圧痛 ($F = 7.0, P < 0.001$)、膝関節伸展筋力 ($F = 2.7, P = 0.047$)、股関節屈曲可動域 ($F = 8.7, P < 0.001$) に有意な主効果を認めた (表 5-2, 5-3)。組織間の滑走性 ($F = 4.9, P = 0.003$) と荷重時痛 ($F = 3.3, P = 0.021$) に関しては交互作用を認めたため、Compression group と Sham group 各々で繰り返しのある一元配置分散分析および事後検定を実施した。結果、組織間の滑走性は Compression group ($F = 31.4, P < 0.001$) においてのみ、荷重時痛は Compression group ($F = 36.1, P < 0.001$)・Sham group ($F = 5.3, P < 0.001$) の両群に有意な主効果を認めた (表 5-4)。さらに、比率尺度である調査項目に対しては、介入前の個体差を考慮して実施した改善度による繰り返しのある二元配置分散分析の結果、歩行速度 ($F = 10.6, P < 0.001$) も介入群において有意な主効果を認めた

(表 5-5).

5-4 考察

5-4-1 本研究結果のまとめ

本研究の目的は、大腿骨転子部骨折例に対する弾性包帯を用いた大腿部の圧迫の効果を検証することであった。その結果、弾性包帯を用いた大腿部の圧迫は組織間の滑走性、荷重時の大腿外側部痛、皮下組織厚、股関節外転筋力、膝関節伸展筋に加え歩行速度が有意に改善することが明らかとなった。

5-4-2 先行研究での疼痛や滑走性に対する理学療法介入の現状

股関節骨折後の疼痛に対する効果的なりハビリテーションとして TENS を用いることで術後 10 日以内での歩行時の疼痛軽減と歩行能力の改善が得られることが報告されている [46][59][60]。また、炎症性疼痛には寒冷療法 (Cryotherapy) により術後 2 日以内の安静時痛と動作時痛の改善効果が得られるとされている [47]。しかしながら、いずれの報告も術後早期に生じる疼痛に対する介入効果であり、より積極的な歩行練習が必要となる回復期リハビリテーション期での患者への疼痛管理として適応があるとは言えない。さらに大腿外側部痛に関連する組織間の滑走性に関しては、Fascia manipulation と呼ばれる治療法が知られている [61][62]。Fascia manipulation は疎性結合織内にヒアルロン酸が多く分布し [27]、これら基質の高密度化の改善が滑走性を向上に繋がると考えられている。しかしながら、介入のエビデンスは確立されておらず、また大腿骨転子部骨折後の歩行時における大腿外側部痛に対する検証はなされていない。つまり、大腿骨転子部骨折の回復期リハビリテーション期における大腿外側部痛や滑走性、歩行の能力の改善に対する理学療法は明らかでなく、本研究での弾性包帯を用いた理学療法介入がこれらの機能・動作障害に対して効果的であることを初めて示した研究である。

5-4-3 弾性包帯を用いた大腿部への圧迫効果の妥当性

大腿部に対する圧迫の効果としては大腿部が固定される。加えて、従来より大腿部とは部位が異なるものの、圧迫により浮腫の軽減 [45] や固有感覚の促通 [63]、歩行中の生体力学的な変化を引き起こす [64] ことが報告されている。浮腫の軽減は循環を改善させることで除痛に繋がり [65][66][45]、さらに皮下組織厚の減少にも関連していることが考えられる。

皮下組織厚は荷重時の大腿外側部痛と組織間の滑走性と相互に関連する[42]。また、皮下組織の厚みの減少と大腿部の固定により皮下組織の運動が抑制され、固有感覚の促通に伴う筋力の改善が外側広筋の収縮を増加させたことにより大腿外側部における皮下組織と外側広筋間の滑走性が向上したと考えられた。このことも荷重時の大腿外側部痛の軽減に繋がっていると予測される。さらに除痛や筋力向上といった機能改善が動作面である歩行速度向上に繋がったと考えられた。

また、弾性包帯による大腿部への圧迫強度が統一されていないといった問題があるが、この点に関しては圧迫強度の違いが疼痛に影響しない[66]といった報告もあることから、本研究における主要な研究限界とは考えていない。

5-4-4 臨床的意義

理学療法を実施する上で難渋する大腿骨転子部骨折後の滑走性低下と大腿外側部痛には特別な技術や器具を要さずに簡便である弾性包帯を用いた大腿部への圧迫が効果的である。

5-5 本研究の限界

本研究にはいくつかの研究限界が存在する。まず、介入2週間以降の長期的な経過に関しては調査出来ていない点や弾性包帯を用いた大腿部の圧迫下での大腿外側部における動態が観察できていない。加えて、介入の有無による活動量（歩行練習量）の違いが明らかではないことである。

5-6 まとめ

弾性包帯を用いた大腿部への圧迫は、皮下組織の厚みを減少させ、滑走性と大腿外側部痛や股関節外転筋・膝関節伸展筋力を有意に改善させる。加えて歩行速度の改善にも有効な介入手段であることが明らかとなった。

第6章 本論文の結論

本研究の目的は大腿骨転子部骨折後の大腿外側部痛に対する組織間の滑走性の関与を明らかにするとともに、組織間の滑走性に関与する因子の分析と効果的な運動療法を確立することであった。

6-1 大腿骨転子部骨折後の大腿外側部痛と組織間の滑走性の関連

大腿骨転子部骨折後の荷重時における大腿外側部痛の重症度別に分類し、大腿外側部痛と組織間の滑走性の関係を調査した。また、大腿外側部痛および組織間の滑走性の改善に関連があるかを合わせて検討した。結果、荷重時の大腿外側部痛が重度な群は術後約3週目で有意に組織間の滑走性が低下することやこれらの改善度の間には有意な正の相関関係を示すことが明らかとなった。以上のことより、大腿骨転子部骨折後の大腿外側部痛には組織間の滑走性が重要であり、大腿骨転子部骨折後の理学療法における新たな着眼点を示すことができた。

6-2 大腿骨転子部骨折後の組織間の滑走性に関連する因子の検討

大腿骨転子部骨折例の組織間の滑走性と大腿外側部における結合組織厚（皮下組織厚・密性結合組織厚・疎性結合組織厚・密性結合組織比率）、股関節外転および膝関節伸展の筋力、股関節屈曲・内転および膝関節屈曲の可動域、荷重時の大腿外側部痛の関連を調査した。結果、滑走性は皮下組織厚が肥厚し、密性結合組織比率が増加するほど低下すること、大腿外側部痛は皮下組織厚が肥厚するほど悪化することが明らかとなった。したがって、大腿骨転子部骨折後に生じる組織間の滑走性低下に対しては大腿外側部の結合組織厚が重要であり、理学療法介入時に着目する必要性が示唆された。

6-3 大腿骨転子部骨折後の大腿外側部痛および組織間の滑走性に対する弾性包帯を用いた 圧迫の効果検証 -多施設間共同二重盲検ランダム化並行比較試験-

大腿骨転子部骨折後の荷重時における大腿外側部痛を有する例に対する大腿部への圧迫介入を検証した。結果、弾性包帯を用いた圧迫群では組織間の滑走性、皮下組織圧、荷重時の大腿外側部痛、歩行速度、股関節外転および膝関節伸展の筋力が有意に改善した。以

上より、荷重時の大腿外側部痛を呈する大腿骨転子部骨折例に対する理学療法として、弾性包帯を用いた大腿部への圧迫が効果的であることが明らかとなった。

6-4 今後の展望

今後は大腿骨転子部骨折後のリハビリテーションにおける組織間の滑走性を考慮したプロトコルの作成や組織間の滑走性評価が疼痛発生の予測因子としての活用など、より臨床現場で応用できるようにすることが重要である。そのためには、組織間の滑走性評価がより簡便に行えるように、人工知能（artificial intelligence）を用いた画像解析なども進めていく必要があると考えている。

引用文献

1. 令和3年版高齢社会白書. 内閣府,https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2021/zenbun/03pdf_index.html. : 令和3年10月12日閲覧.
2. 伊勢福修司. 大腿骨近位部骨折の治療の現状. 仙台医療センター医学雑誌. 2016;6: 10–20.
3. 日本整形外科診療ガイドライン委員会 編集. 大腿骨頸部/転子部骨折 診療ガイドライン 2021 改訂第3版. 南江堂. 2021; 17–20.
4. 萩野 浩. 【Geriatric Orthopedics : 高齢者脆弱性骨折の予防と治療】わが国の脆弱性骨折の現状 骨卒中予防の課題. Geriatr Med. 2021;59巻: 243–248.
5. Sambrook P, Cooper C. Osteoporosis. Lancet. 2006;367: 2010–2018. doi:10.1016/S0140-6736(06) 68891-0
6. 加藤 浩, 奥村 晃司, 岡澤 和哉. 大腿骨頸部/転子部骨折. 理学療法ジャーナル. 2018;52巻: 561–573.
7. 前原 孝. SFNの立場から. Loco Cure. 2017;3巻: 160–170.
8. 対馬 栄輝. 筋骨格系理学療法を見直す はじめに技術ありきの現状から, どう新展開するか. 文光堂. 2011.
9. 坂本 淳哉, 片岡 英樹, 吉田 奈央, 山口 紗智, 西川 正悟, 村上 正寛, ほか. 大腿骨近位部骨折術後の痛みの発生状況に関する実態調査. 理学療法学. 2010;39: 1138.
10. 片岡 英樹, 西川 正悟, 渋谷 美帆子, 岩佐 恭平, 山口 紗智, 村上 正寛, ほか. 大腿骨近位部骨折術後の痛みの発生状況に関する調査. 理学療法学. 2011;38: 1053.
11. Hagino H, Endo N, Harada A, Iwamoto J, Mashiba T, Mori S, et al. Survey of hip fractures in Japan: Recent trends in prevalence and treatment. J Orthop Sci. 2017;22: 909–914. doi:10.1016/j.jos.2017.06.003
12. 川端 悠士. 大腿骨頸部骨折. 理学療法ジャーナル. 2017;第51巻: 171–177.
13. Orosz GM, Magaziner J, Hannan EL, Morrison RS, Koval K, Gilbert M, et al. Association of Timing of Surgery for Hip Fracture and Patient Outcomes. J Am Med Assoc. 2004;291: 1738–1743. doi:10.1001/jama.291.14.1738
14. 嶋田 智明 編集. 大腿骨頸部骨折 何を考え, どう対処するか. 文光堂. 2009: 24.
15. 沖田 実. 関節可動域制限の発生メカニズムとその治療戦略. 理学療法学. 2014;41: 523–530.
16. Perry J. ペリー 歩行分析 正常歩行と異常歩行 GAIT ANALYSIS Normal and pathological

- Function 第1版. 医歯薬出版株式会社. 2017;304: 53–69.
17. Steven R Cummings, Stephanie Studenski LF. A diagnosis of disability--giving mobility clinical visibility: a Mobility Working Group recommendation. *JAMA*. 2014;311: 2061–2. doi:10.1001/jama.2014.3033.A
 18. Middleton A, Fritz SL, Lusardi M. Walking speed: The functional vital sign. *J Aging Phys Act*. 2015;23: 314–322. doi:10.1123/japa.2013-0236
 19. Takahashi A, Naruse H, Kitade I, Shimada S, Tsubokawa M, Kokubo Y, et al. Functional outcomes after the treatment of hip fracture. *PLoS One*. 2020;15: 1–8. doi:10.1371/journal.pone.0236652
 20. Thingstad P, Egerton T, Ihlen EF, Taraldsen K, Moe-Nilssen R, Helbostad JL. Identification of gait domains and key gait variables following hip fracture. *BMC Geriatr*. 2015;15: 1–7. doi:10.1186/s12877-015-0147-4
 21. Pfeufer D, Grabmann C, Mehaffey S, Keppler A, Böcker W, Kammerlander C, et al. Weight bearing in patients with femoral neck fractures compared to pertrochanteric fractures: A postoperative gait analysis. *Injury*. 2019;50: 1324–1328. doi:10.1016/j.injury.2019.05.008
 22. Thingstad P, Taraldsen K, Saltvedt I, Sletvold O, Vereijken B, Lamb SE, et al. The long-term effect of comprehensive geriatric care on gait after hip fracture: the Trondheim Hip Fracture Trial—a randomised controlled trial. *Osteoporos Int*. 2016;27: 933–942. doi:10.1007/s00198-015-3313-9
 23. 千鳥 司浩, 山本 裕二. 高齢者の歩行周期時間変動に影響を及ぼす要因の検討. *理学療法科学*. 2016;31: 213–219. doi:10.1589/rika.31.213
 24. 河上 敬介, 磯貝 香 編集. 骨格筋の形と触察法 改訂第2版. 大峰閣. 2013.
 25. Robert Schleip (著) 竹井仁 (翻訳). 人体の張力ネットワーク 膜・筋膜-最新知見と治療アプローチ. 医歯薬出版株式会社. 2015.
 26. 奈良 勲, 黒澤 和生, 竹井 仁編集. 系統別・治療手技の展開 改訂第2版. 協同医書出版社. 2008.
 27. Stecco C, Stern R, Porzionato A, MacChi V, Masiero S, Stecco A, et al. Hyaluronan within fascia in the etiology of myofascial pain. *Surg Radiol Anat*. 2011;33: 891–896. doi:10.1007/s00276-011-0876-9
 28. Antonio S, Wolfgang G, Robert H, Fullerton B, Carla S. The anatomical and functional relation

- between gluteus maximus and fascia lata. *J Bodyw Mov Ther.* 2013;17: 512–517. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbmt.2013.04.004>
29. Luigi Stecco. 筋膜マニピレーション 理論編. 医歯薬出版株式会社. 2011.
 30. 蒲田和芳. 【アスリートを支える低侵襲治療の実際】 徒手組織間リリースの治療効果. 整形外科最小侵襲手術ジャーナル. 2018;88: 30–40.
 31. 大工谷 新一. 関節可動域制限に対するストレッチング. 季刊マニピレーション. 2002;17: 18–25.
 32. 大工谷 新一. ストレッチング. 関西理学療法. 2003;3: 1–7.
 33. 市橋 則明, 中村 雅俊. スタティックストレッチングが筋腱複合体に与える影響. *J Clin Phys Ther.* 2011;14: 29–41.
 34. 市川 和奈, 宇佐 英幸, 小川 大輔, 見供 翔, 松村 将司, 畠 昌史, 清水 洋治, 竹井 仁. 超音波画像を用いた深筋膜移動距離測定信頼性の検討. 日本保健科学学会誌. 2013;16: 21–28.
 35. Kudo S, Nakamura S. Relationship between hardness and deformation of the vastus lateralis muscle during knee flexion using ultrasound imaging. *J Bodyw Mov Ther.* 2017;21: 549–553. doi:10.1016/j.jbmt.2016.08.006
 36. Dilley A, Greening J, Lynn B, Leary R, Morris V. The use of cross-correlation analysis between high-frequency ultrasound images to measure longitudinal median nerve movement. *Ultrasound Med Biol.* 2001;27: 1211–1218. doi:10.1016/S0301-5629 (01) 00413-6
 37. 藤田一郎. トレーサ を利用した実河川水制周辺流れのビデオ画像解析. 水工学論文集. 1998;42: 505–510.
 38. 綽 宏二郎, 芝山 道郎, 神田 英司 板橋 直, 坂西 研二, 阿部 薫, ほか. 傾斜畑における降雨に伴う表面流出の画像計測法—流出動画自動撮影装置を用いた表面流出の観測—. システム農学. 2016;32: 81–89.
 39. 元祐 昌廣. 脳動脈瘤の実験的血流解析のための流速測定法 : PIV. 脳神経外科速報. 2013;23: 1246–1251.
 40. 洲崎 文男, 小谷 祥仁, 岡崎 博. CTボリュームナビゲーションエコーとParticle Image Velocimetry (PIV) による消化管運動可視化の試み. *Prog Med.* 2013; 432–435.
 41. 粕山 達也, 川越 誠, 加藤 和夫. 足関節背屈時の下腿筋群の形状変化と滑走性評価. 健康科学大学紀要. 2017;9: 43–50.

42. Kawanishi K, Kudo S. Quantitative analysis of gliding between subcutaneous tissue and the vastus lateralis -Influence of the dense connective tissue of the myofascia. *J Bodyw Mov Ther.* 2020;24: 316–320. doi:10.1016/j.jbmt.2020.07.019
43. Kazmi SSH, Stranden E, Kroese AJ, Slagsvold CE, Diep LM, Stromsoe K, et al. Edema in the lower limb of patients operated on for proximal femoral fractures. *J Trauma - Inj Infect Crit Care.* 2007;62: 701–707. doi:10.1097/01.ta.0000196968.45151.7f
44. Stecco A, Meneghini A, Stern R, Stecco C, Imamura M. Ultrasonography in myofascial neck pain: Randomized clinical trial for diagnosis and follow-up. *Surg Radiol Anat.* 2014;36: 243–253. doi:10.1007/s00276-013-1185-2
45. Schröder D, Pässler HH. Combination of cold and compression after knee surgery - A prospective randomized study. *Knee Surgery, Sport Traumatol Arthrosc.* 1994;2: 158–165. doi:10.1007/BF01467918
46. Harris-Hayes M, Herring T, Kenny AM, Kristensen MT, Mangione KK, McDonough CM, et al. Physical therapy management of older adults with hip fracture. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2021;51: CPG1–CPG81. doi:10.2519/JOSPT.2021.0301
47. Adie S, Naylor J, Harris IA. Cryotherapy following total knee replacement. *Cochrane Database Syst Rev.* 2009. doi:10.1002/14651858.CD007911
48. 河西謙吾, 工藤慎太郎, 林俊英. 大腿外側部の筋動態を撮像するためのプローブ固定装置の開発. *日本整形外科超音波学会会誌.* 2018;30: 126–131.
49. Landis JR, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics.* 1977;33: 159–174.
50. 上野 貴大, 高橋 幸司, 座間 拓弥. 大腿骨近位部骨折患者における立ち上がり動作の運動力学的・筋電図学的分析-動作時疼痛の有無による比較-. *理学療法学.* 2015;42: 228–236.
51. Pfister PB, De Bruin ED, Sterkele I, Maurer B, De Bie RA, Knols RH. Manual muscle testing and hand-held dynamometry in people with inflammatory myopathy: An intra- and interrater reliability and validity study. *PLoS One.* 2018;13: 1–22. doi:10.1371/journal.pone.0194531
52. Shimizu N, Hirano M, Hiiragi Y, Katoh M. Reliability of hip joint abduction muscle strength measurement on supine position using a Hand-held dynamometer[Japanese]. *Bull Ryotokuji Univ.* 2017;11: 171–176.

53. Fukumoto Y, Tateuchi H, Ikezoe T, Tsukagoshi R, Akiyama H, So K, et al. Effects of high-velocity resistance training on muscle function, muscle properties, and physical performance in individuals with hip osteoarthritis: A randomized controlled trial. *Clin Rehabil.* 2014;28: 48–58. doi:10.1177/0269215513492161
54. Kawanishi K, Kudo S, Yokoi K. Relationship Between Gliding and Lateral Femoral Pain in Patients With Trochanteric Fracture. *Arch Phys Med Rehabil.* 2020;101: 457–463. doi:10.1016/j.apmr.2019.09.011
55. Ishida T, Takeuchi K, Hayashi S, Kawata S, Hatayama N, Qu N, et al. Anatomical structure of the subcutaneous tissue on the anterior surface of human thigh. *Okajimas Folia Anat Jpn.* 2015;92: 1–6. doi:10.2535/ofaj.92.1
56. Stecco C. *Functional Atlas of the Human Fascial System.* 1st edition. Churchill Livingstone. 2014. doi:10.1016/j.ijosm.2015.04.003
57. McCamley J, Donati M, Grimpampi E, Mazzà C. An enhanced estimate of initial contact and final contact instants of time using lower trunk inertial sensor data. *Gait Posture.* 2012;36: 316–318. doi:10.1016/j.gaitpost.2012.02.019
58. Na A, Buchanan TS. Self-reported walking difficulty and knee osteoarthritis influences limb dynamics and muscle co-contraction during gait. *Hum Mov Sci.* 2019;64: 409–419. doi:10.1016/j.humov.2018.11.002
59. Gorodetskyi IG, Gorodnichenk AI, Tursin OPS, Reshetnyak VK, Uskov ON. Non-invasive interactive neurostimulation in the post-operative recovery of patients with a trochanteric fracture of the femur: A randomised, controlled trial. *J Bone Jt Surg - Ser B.* 2007;89: 1488–1494. doi:10.1302/0301-620X.89B11.19352
60. Elboim-Gabyzon M, Najjar SA, Shtarker H. Effects of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) on acute postoperative pain intensity and mobility after hip fracture: A doubleblinded, randomized trial. *Clin Interv Aging.* 2019;14: 1841–1850. doi:10.2147/CIA.S203658
61. Luigi Stecco. *Fascial manipulation for musculoskeletal pain [Kindle DX version].* 2004.
62. Luigi Stecco, Carla Stecco. *Fascial manipulation practical part [Kindle DX version].* 2009.
63. Perlau R, Frank C, Fick G. The Effect of Elastic Bandages on Human Knee Proprioception in the Uninjured Population. *Am J Sports Med.* 1995;23: 251–255. doi:10.1177/036354659502300221

64. Cheng L, Xiong C. The effects of compression stockings on the energetics and biomechanics during walking. *Eur J Appl Physiol.* 2019;119: 2701–2710. doi:10.1007/s00421-019-04245-z
65. Winge R, Bayer L, Gottlieb H, Ryge C. Compression therapy after ankle fracture surgery: a systematic review. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2017;43: 451–459. doi:10.1007/s00068-017-0801-y
66. Hassan BS, Mockett S, Doherty M. Influence of elastic bandage on knee pain, proprioception, and postural sway in subjects with knee osteoarthritis. *Ann Rheum Dis.* 2002;61: 24–28. doi:10.1136/ard.61.1.24

謝辞

本研究は指導教員 工藤 慎太郎教授，副指導教員 山下 仁教授の指導のもとに行われました。本論文に対して貴重なお時間を割いて査読と審査頂きました森ノ宮医療大学 医療技術学部 臨床検査学科 川畑 浩久教授，森ノ宮医療大学 医療技術学部 臨床工学科 辻 義弘准教授，森ノ宮医療大学 総合リハビリテーション学部 理学療法学科 澤田 優子准教授，森ノ宮医療大学 総合リハビリテーション学部 理学療法学科 前田 薫准教授に深謝いたします。また，実験の被験者を引き受けて下さった社会医療法人有隣会 東大阪病院，社会医療法人協和会 加納総合病院の患者様に感謝いたします。そして本研究は東大阪病院の福田大輔氏・北川崇氏・井上花奈氏，加納総合病院の奥野泰介氏，丹羽裕之氏のデータ収集に関する多大な協力なくしては成し得ることができないものでありました。さらに多くのご指摘とご助言を下さいました工藤研究室の院生並びに学部生、研究員の皆様，森ノ宮医療大学の諸先生方に心より御礼を申し上げます。

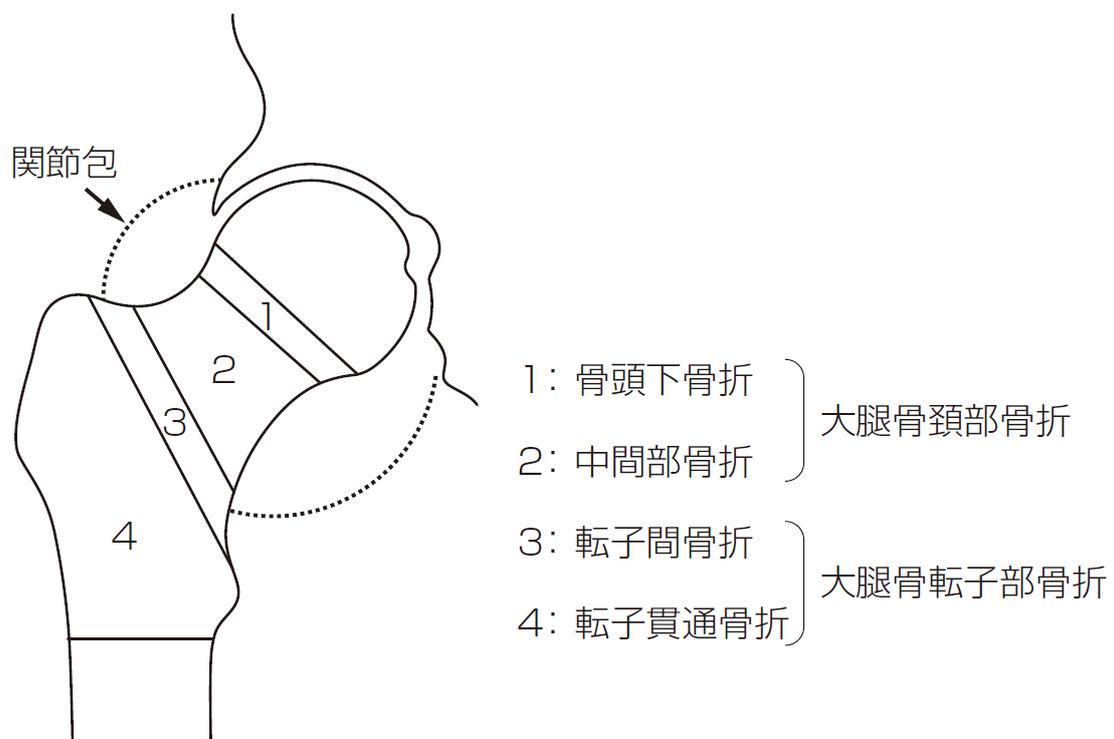


図 1-1 大腿骨頸部骨折と大腿骨転子部骨折の分類[6]

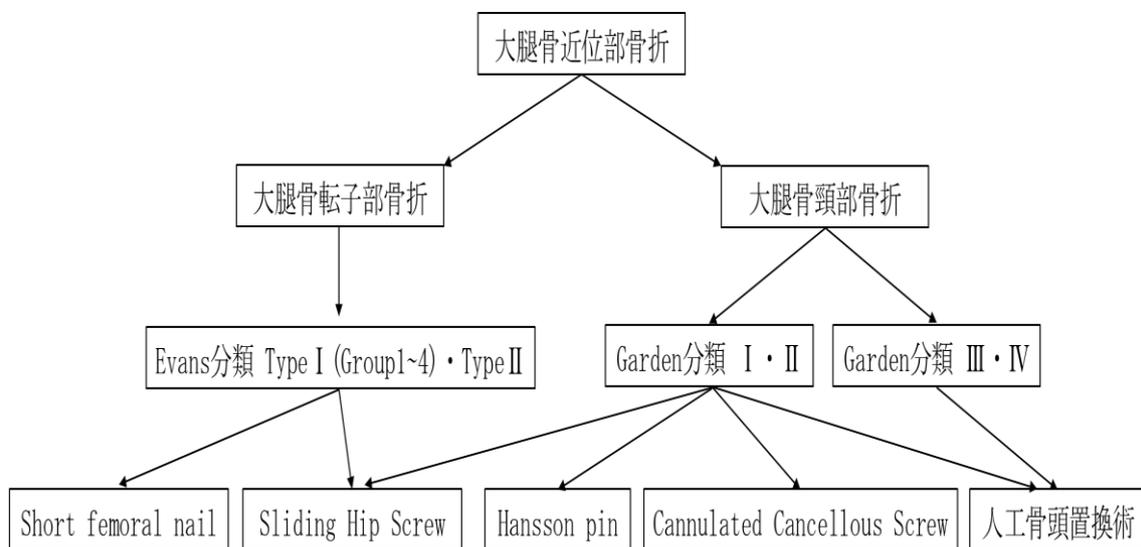


図 1-2 大腿骨近位部骨折後の外科的治療法の選択

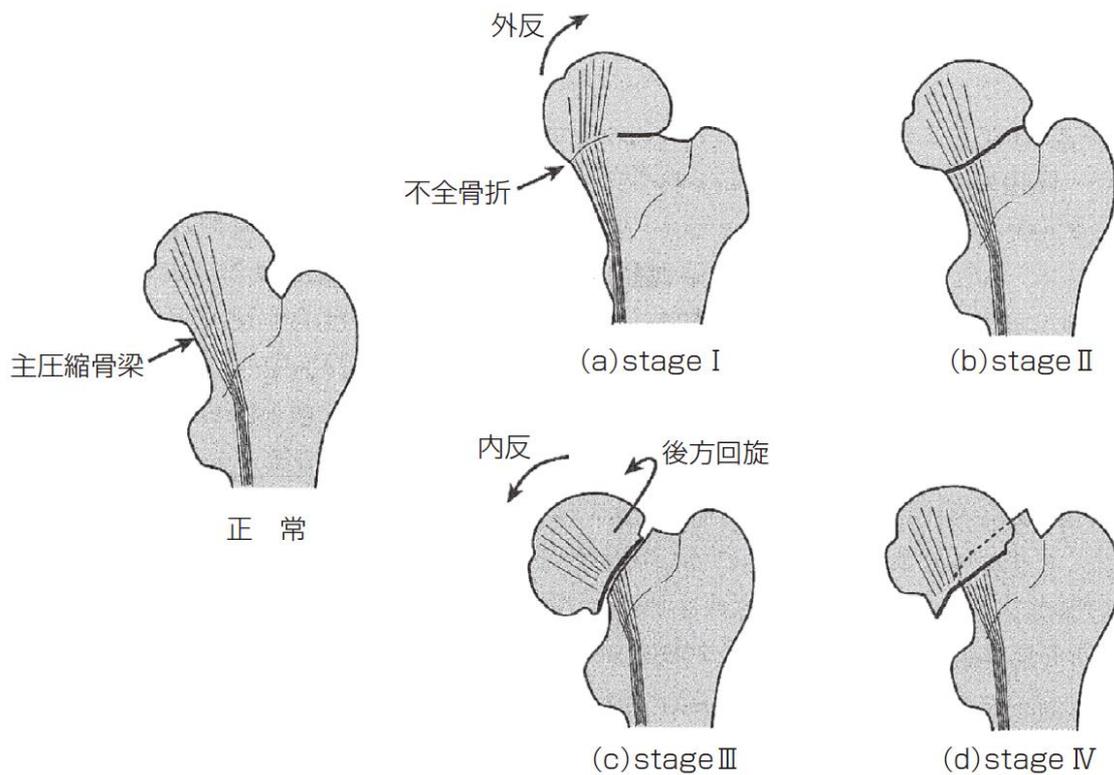


図 1-3 大腿骨頸部骨折の Garden 分類[6]

- (a) Stage I : 不完全骨折. 骨頭は外反位をとる.
- (b) Stage II : 完全骨折. 骨頭の転位なし. 近位骨片と遠位骨片の主圧縮骨梁の方向に乱れなし
- (c) Stage III : 完全骨折. 骨頭の転位あり (骨頭は内反位をとり後方回旋する). 近位骨片の主圧縮骨梁は水平化し, 臼蓋, 骨頭, 遠位骨片の主圧縮骨梁の方向が一致しない.
- (d) Stage IV : 完全骨折. 骨頭の高度転位あり. 臼蓋, 骨頭, 遠位骨片の主圧縮骨梁の方向が一致.

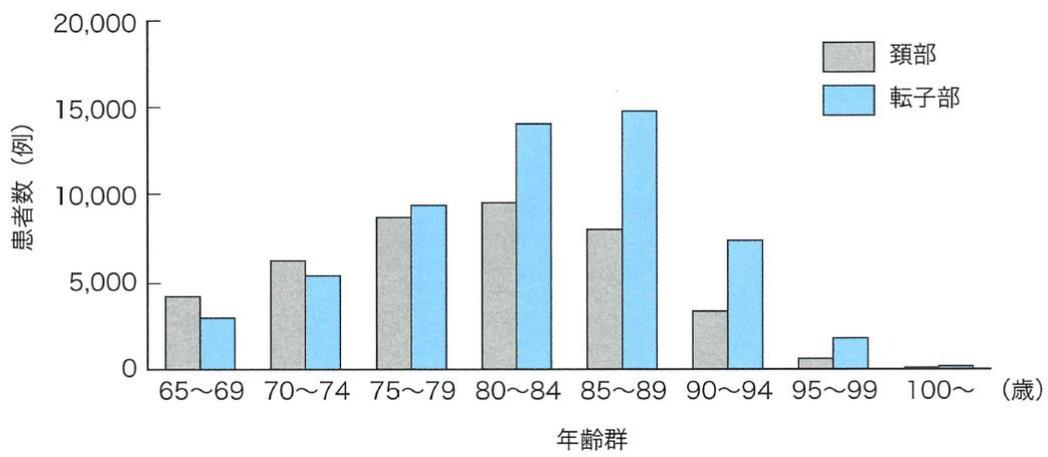


図 1-4 大腿骨頸部骨折と大腿骨転子部骨折の年齢別比率 [3]



図 1-5 大腿骨転子部骨折後の殿部～大腿部の皮下出血例

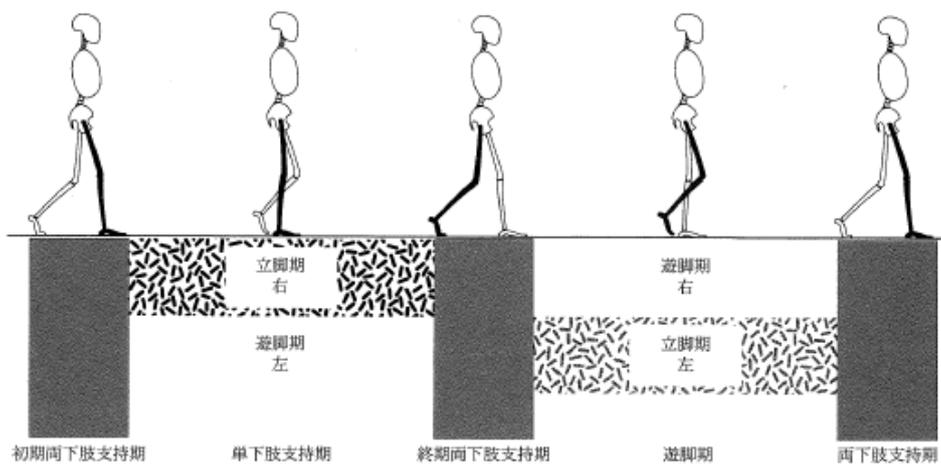


図 1-6 歩行周期における立脚期・遊脚期・両脚支持期の規定[16]

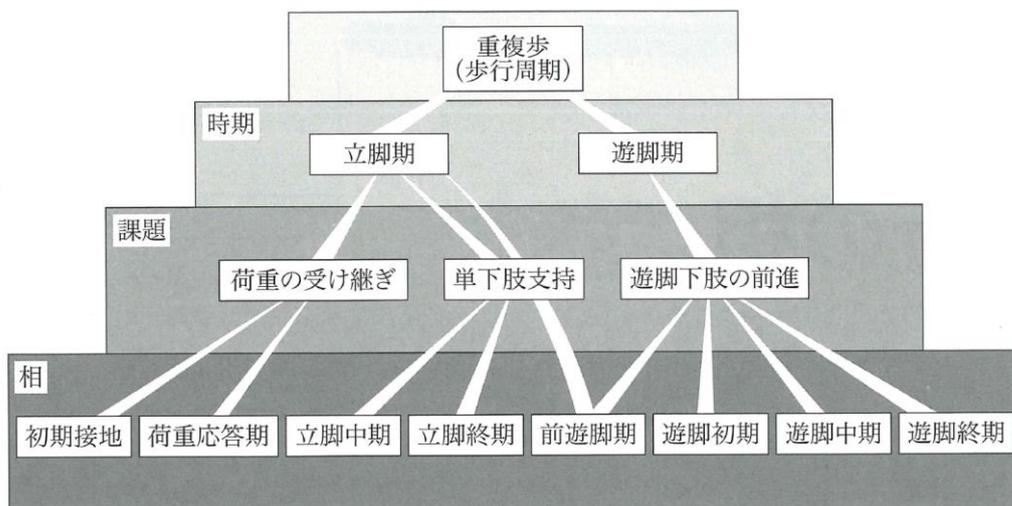


図 1-7 歩行周期は機能的に 8 つの相分け[16]

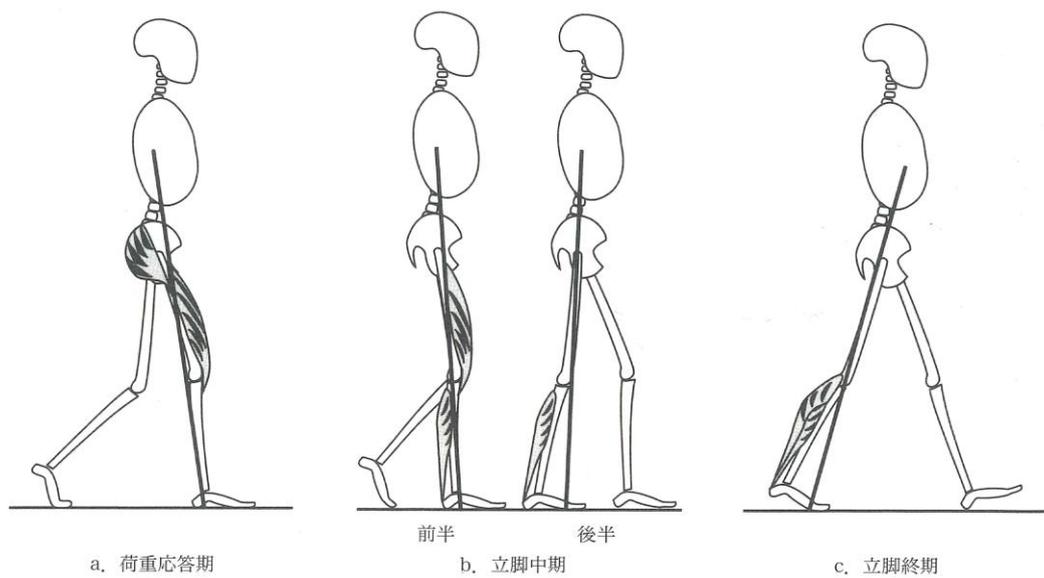


図 1-8 歩行中の床反力ベクトル[16]

- a) 荷重応答期：床反力ベクトルは股関節の前方，膝関節・足関節の後方を通る
- b) 立脚中期：この相の開始点（前半）では，床反力ベクトルは膝関節のわずかに後方，足関節の前方を通る．相の終わり（後半）には，床反力ベクトルは足関節と膝関節の前方，股関節の後方に移動する．
- c) 立脚終期：床反力ベクトルは股関節の後方，膝関節の前方，足関節のかなり前方を通る．

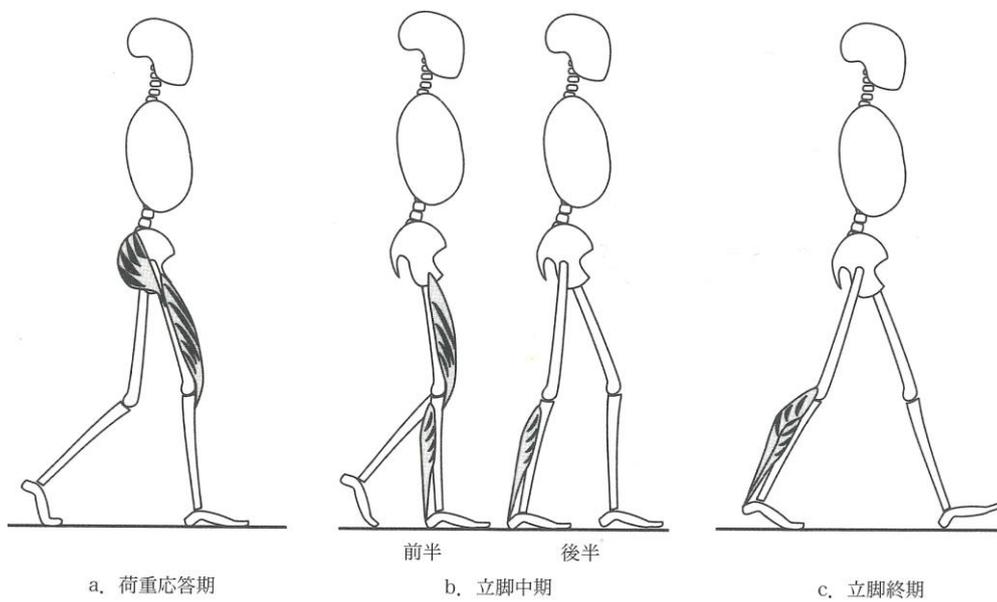


図 1-9 歩行中の関節モーメントと筋活動[16]

荷重応答期では股関節の伸展筋群と大腿四頭筋によって支持される。立脚中期の前半には膝関節の伸展筋群と足関節の底屈筋群を用いる。立脚終期では足関節底屈筋群のみを必要とする。

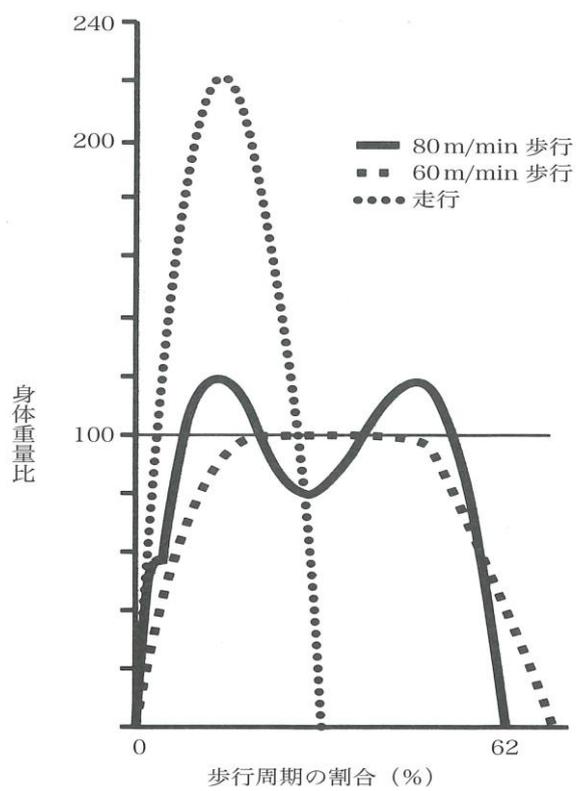


図 1-10 歩行速度の違いが初期接地～荷重応答期の床反力に及ぼす影響[16]

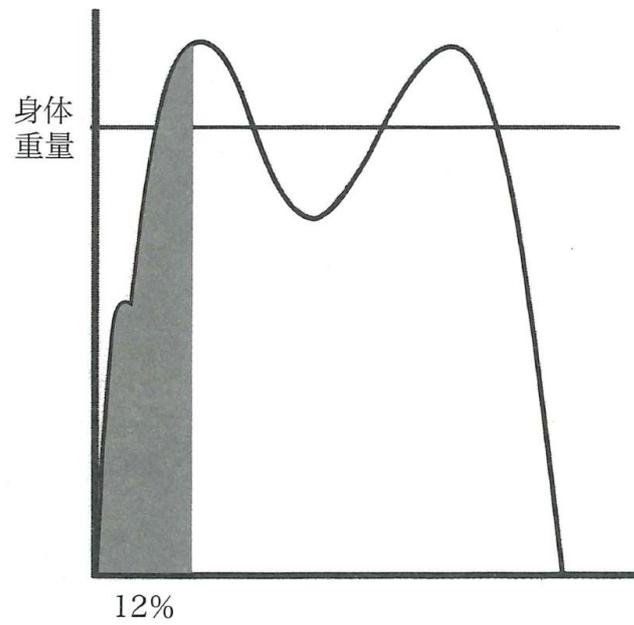


図 1-11 荷重応答期での床反力[16]

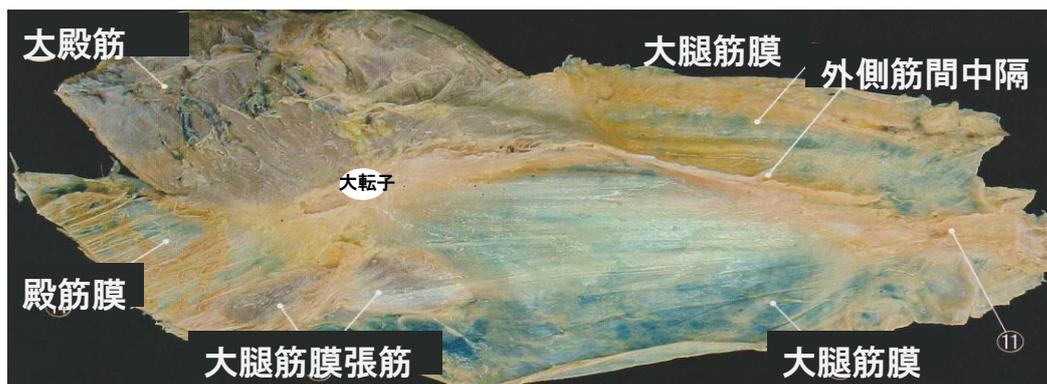


図 1-12 大腿外側部の解剖学的特徴[24]

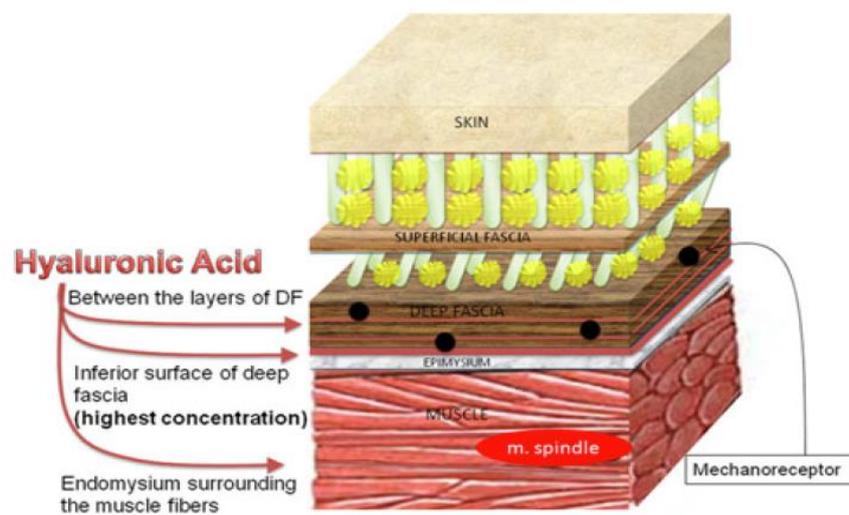


図 1-13 結合組織内のヒアルロン酸の分布について[27]



図 1-14 大腿部における筋膜の層構造について[28]

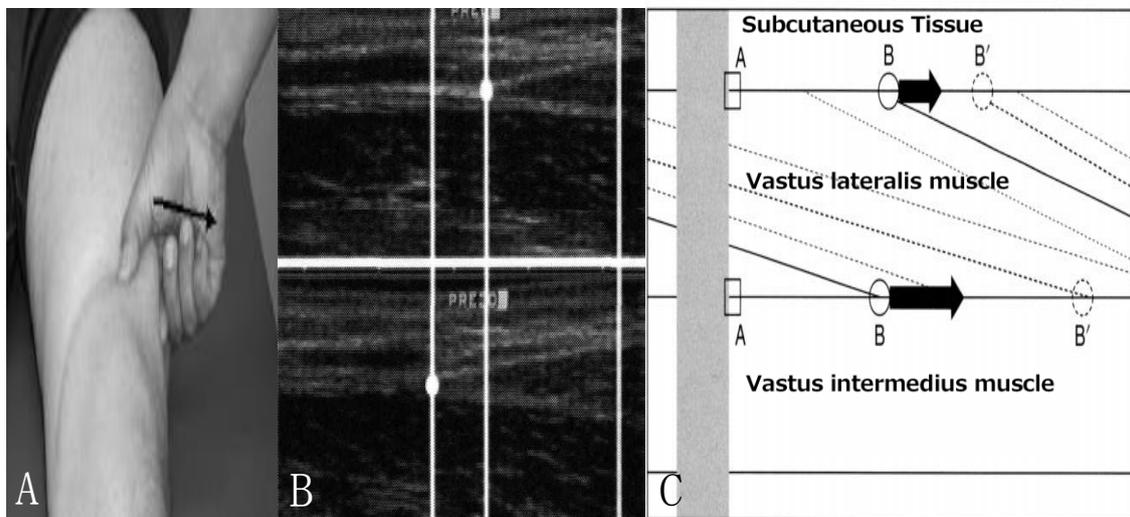


図 1-15 既存の滑走性評価方法[32][33][34]

- A) 大腿直筋に対する徒手的な滑走性の評価法
- B) 下腿三頭筋の筋腱移行部をランドマークにした移動量の定量的計測
- C) 外側広筋に対する筋膜と筋線維の交点を追跡する方法での定量的計測

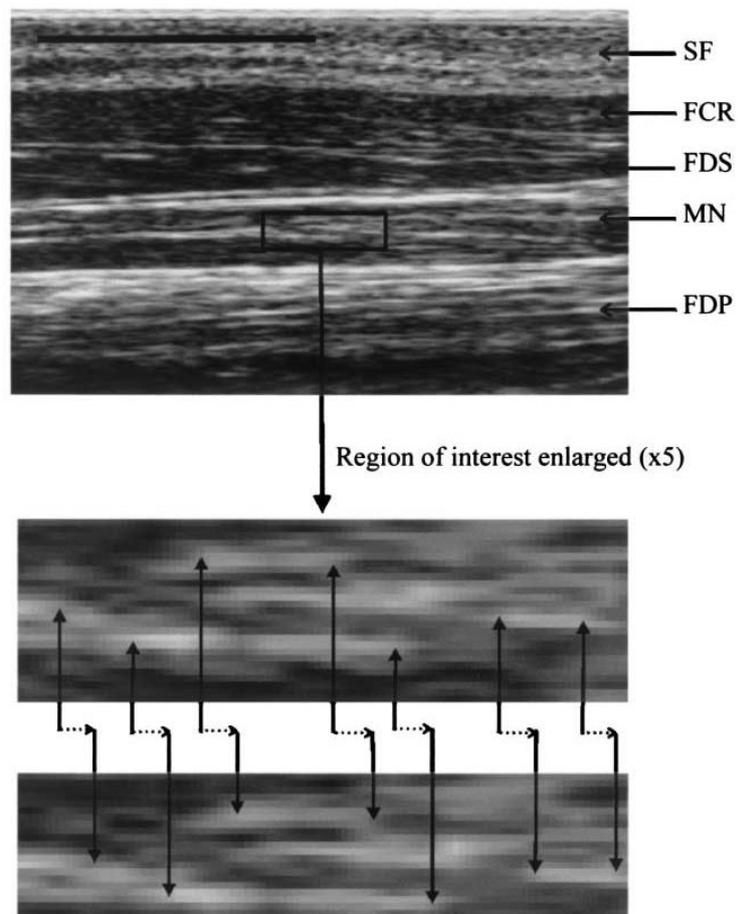


図 1-16 ベクトルマッピングの手法[36]

画像の関心領域内での白黒の濃淡の変化を追跡し、ベクトルマッピングする手法

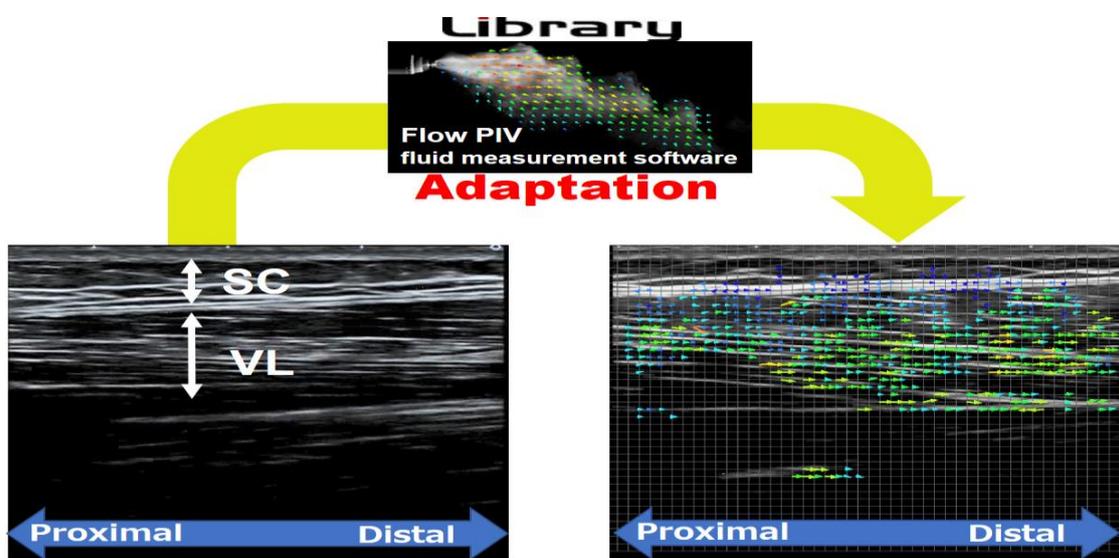


図 1-17 流体画像解析ソフト（Flow PIV）を応用したベクトルマッピング

皮下組織（Subcutaneous tissue; SC） 外側広筋（Vastus lateralis muscle; VL）

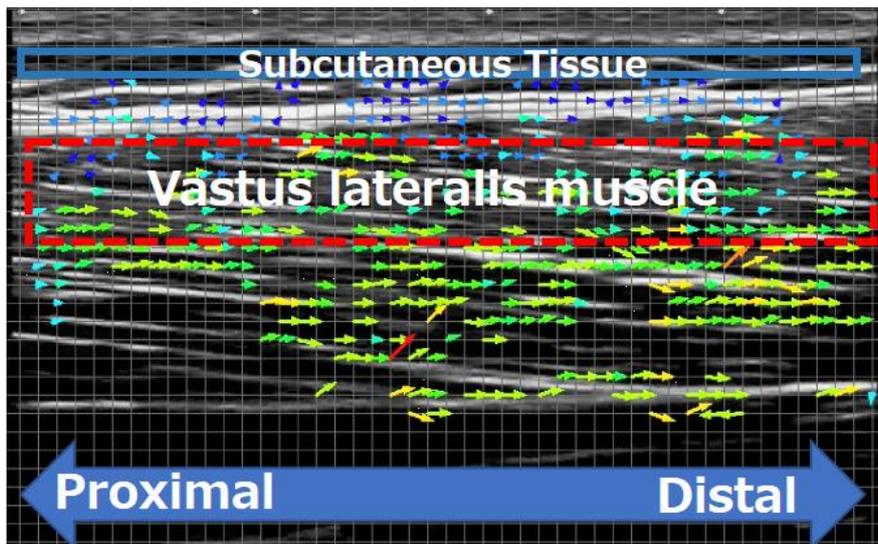


図 1-18 関心領域の設定

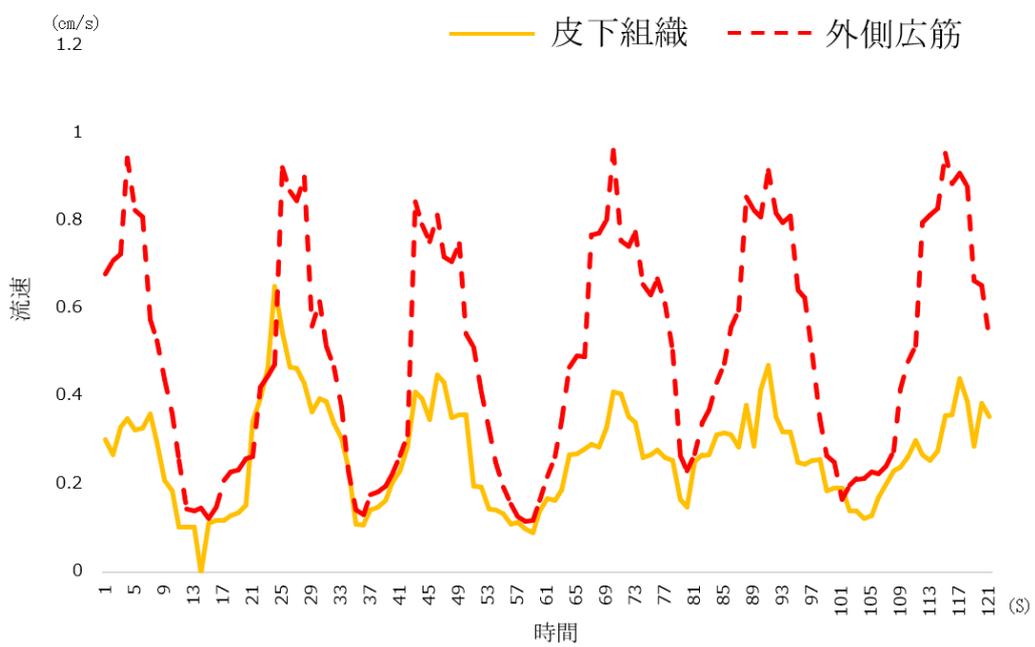


図 1-19 皮下組織および外側広筋における流速の時系列データ

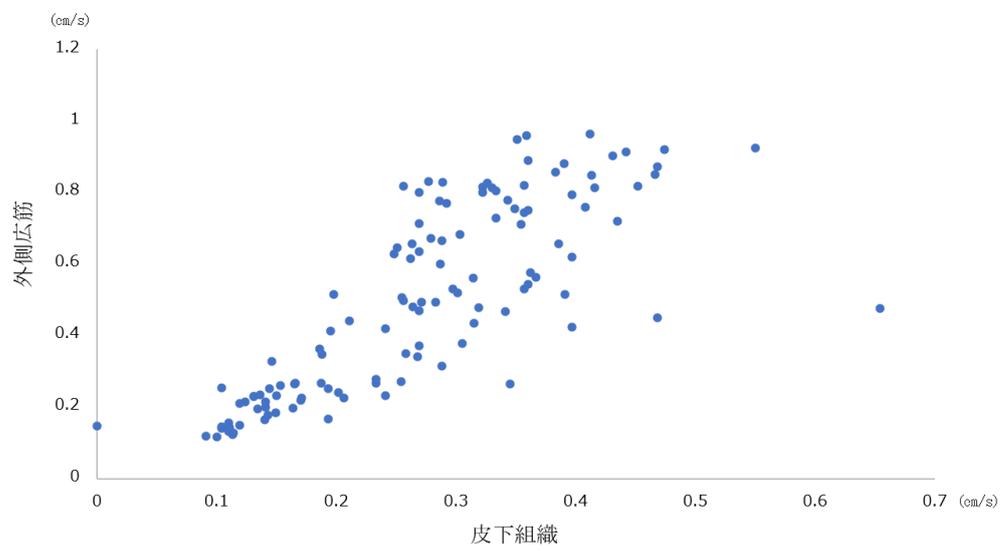


図 1-20 外側広筋及び皮下組織の流速データの散布図

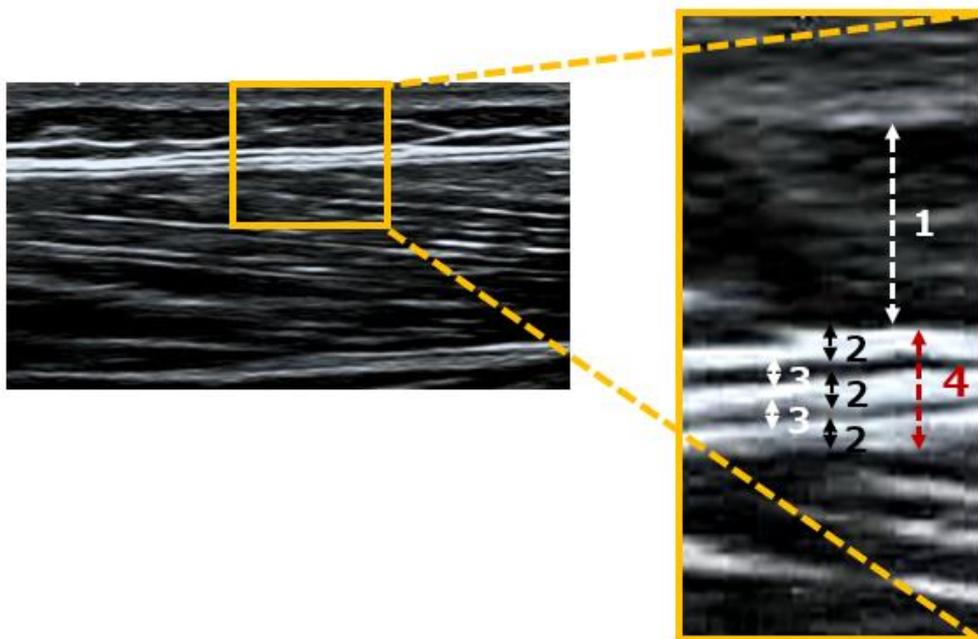


図 1-21 結合組織の計測部位[42]

1.皮下組織厚

2.密性結合組織厚

3.疎性結合組織厚

4.全筋膜厚

5.密性結合組織比率 = 密性結合組織厚 / 全結合組織厚 × 100



図 3-1 計測肢位

股関節屈曲 45° ・ 内外転中間位

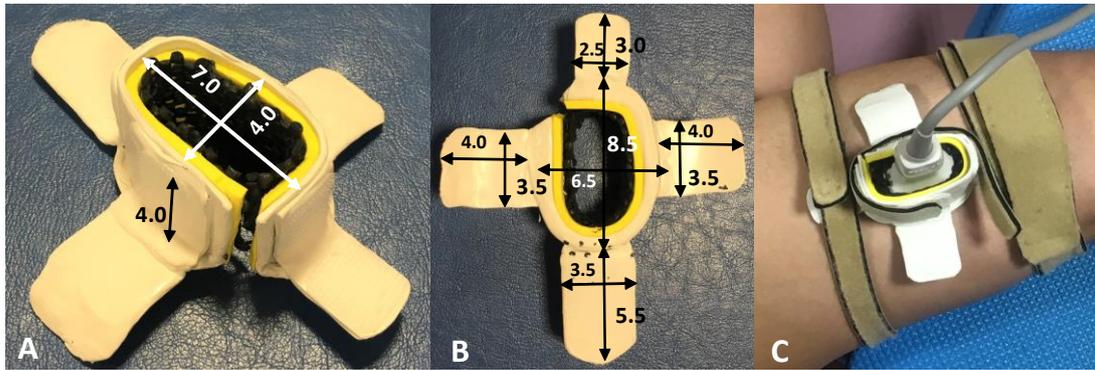


図 3-2 自作のプロブ固定装置

A : 表面 B : 裏面 C : 大腿外側部に対する 12 MHz リニアプローブの固定方法

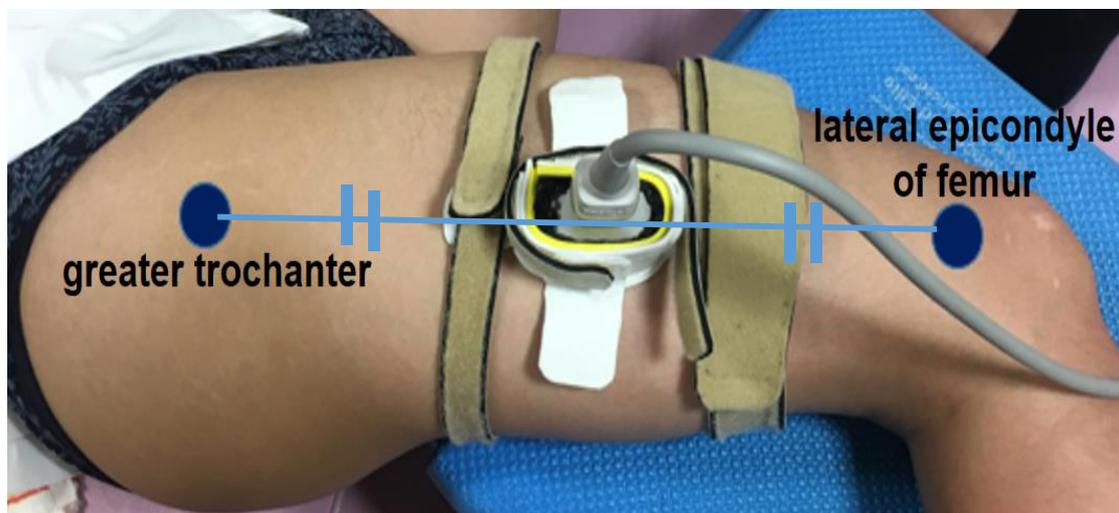


図 3-3 計測部位およびプローブ固定装置を使用したプローブ固定部位
大転子と大腿骨外側上顆を結ぶ線上かつ中点とした。プローブは自作のプローブ固定装置を使用し、長軸に固定した。

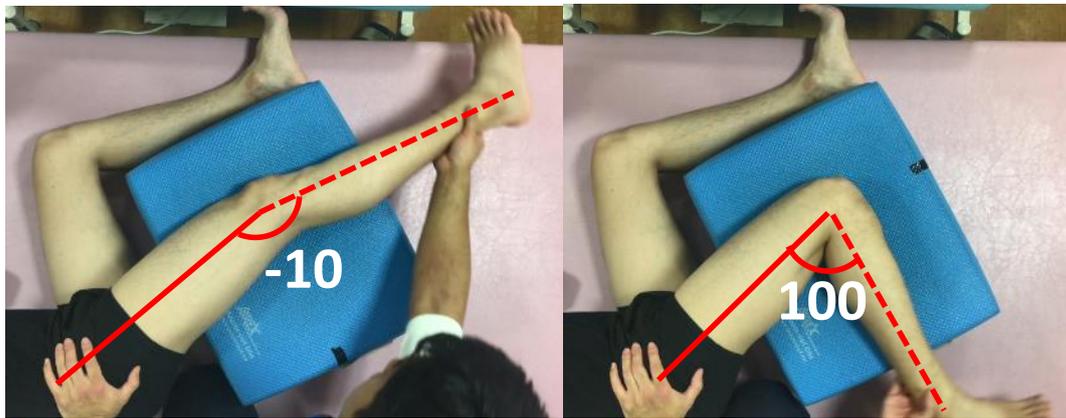


図 3-4 運動課題

理学療法士が他動での膝関節屈伸運動を反復して実施する（膝関節 $-10\sim 100^\circ$ ）

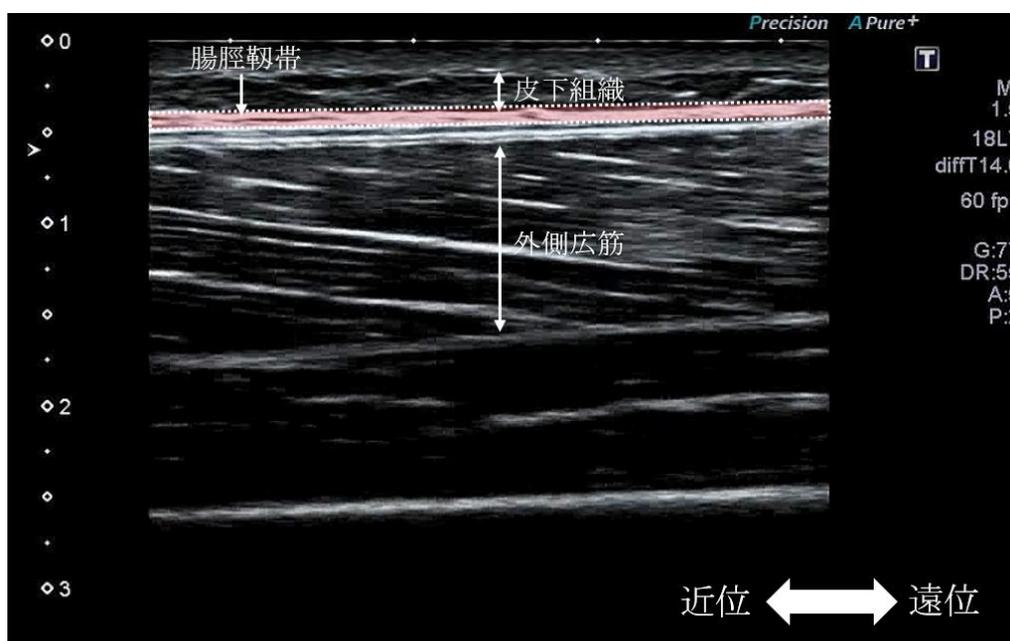


図 3-5 超音波画像診断装置の設定

B mode, Gain 77, Dynamic range 55, Frame rate 60, Focus は腸脛靭帯とした.

表 3-1 対象者の基本属性

変数	疼痛中等度群 (n=10)	疼痛重度群 (n=13)	P値
年齢, 平均±標準偏差(yr)	78.2±22.6	86.9±5.0	0.19
性別, 男性;女性(n)	3;7	1;12	0.93
骨折型, 安定;不安定(n)	7;3	9;4	0.90
初期評価までの期間(d)	24.4±10.9	23.8±9.5	0.88
最終評価までの期間(d)	71.4±23.0	78.4±17.3	0.60

平均±標準偏差

表 3-2 疼痛の重症度別での群間の比較

変数	初期評価			最終評価		
	疼痛中等度群	疼痛重度群	P値	疼痛中等度群	疼痛重度群	P値
荷重時痛	3.1 ± 1.5	6.2 ± 1.1	< 0.01**	0.8 ± 0.6	1.3 ± 1.0	0.33
安静時痛	1.2 ± 1.2	1.3 ± 2.3	0.65	0.2 ± 0.4	0.1 ± 0.3	0.43
圧痛	2.7 ± 1.5	4.9 ± 2.8	0.75	0.7 ± 0.6	0.9 ± 0.8	0.80
伸張時痛	2.3 ± 1.5	5.3 ± 2.0	0.02*	0.9 ± 0.4	1.1 ± 1.0	0.31
収縮時痛	2.1 ± 1.6	5.5 ± 1.4	0.04*	0.7 ± 0.5	1.1 ± 0.8	0.15
滑走係数	0.57 ± 0.18	0.71 ± 0.10	0.03*	0.43 ± 0.14	0.43 ± 0.12	0.56

** P < 0.01 * P < 0.05

表 3-3 疼痛の重症度別での群内の比較

変数	疼痛中等度群			疼痛重度群		
	初期評価	最終評価	P値	初期評価	最終評価	P値
荷重時痛	3.1 ± 1.5	0.8 ± 0.6	< 0.01**	6.2 ± 1.1	1.3 ± 1.0	< 0.01**
安静時痛	1.2 ± 1.2	0.2 ± 0.4	0.09	1.3 ± 2.3	0.1 ± 0.3	0.18
圧痛	2.7 ± 1.5	0.7 ± 0.6	0.02*	4.9 ± 2.8	0.9 ± 0.8	0.02*
伸張時痛	2.3 ± 1.5	0.9 ± 0.4	0.04*	5.3 ± 2.0	1.1 ± 1.0	< 0.01**
収縮時痛	2.1 ± 1.6	0.7 ± 0.5	0.06	5.5 ± 1.4	1.1 ± 0.8	< 0.01**
滑走係数	0.57 ± 0.18	0.43 ± 0.14	< 0.01**	0.71 ± 0.10	0.43 ± 0.12	< 0.01*

** P < 0.01 * P < 0.05

※平均 ± 標準偏差

表 3-4 各項目の改善度

変数	初期評価	最終評価	改善度 (最終評価-初期評価)
荷重時痛	4.8 ± 2.0	1.0 ± 0.9	-3.9 ± 1.8
安静時痛	1.2 ± 1.9	0.1 ± 0.3	-1.1 ± 1.9
圧 痛	2.7 ± 1.5	4.9 ± 2.8	-2.2 ± 2.3
伸張時痛	2.9 ± 2.6	0.6 ± 0.8	-2.1 ± 2.3
収縮時痛	2.5 ± 2.6	0.5 ± 0.7	-2.0 ± 2.2
滑走係数	0.66 ± 0.12	0.44 ± 0.12	-0.22 ± 0.12

平均 ± 標準偏差

表 3-5 滑走性と疼痛の相関関係

	荷重時痛	安静時痛	圧痛	伸張時痛	収縮時痛
滑走係数	0.49*	0.03	0.18	0.42*	0.31

* P < 0.05

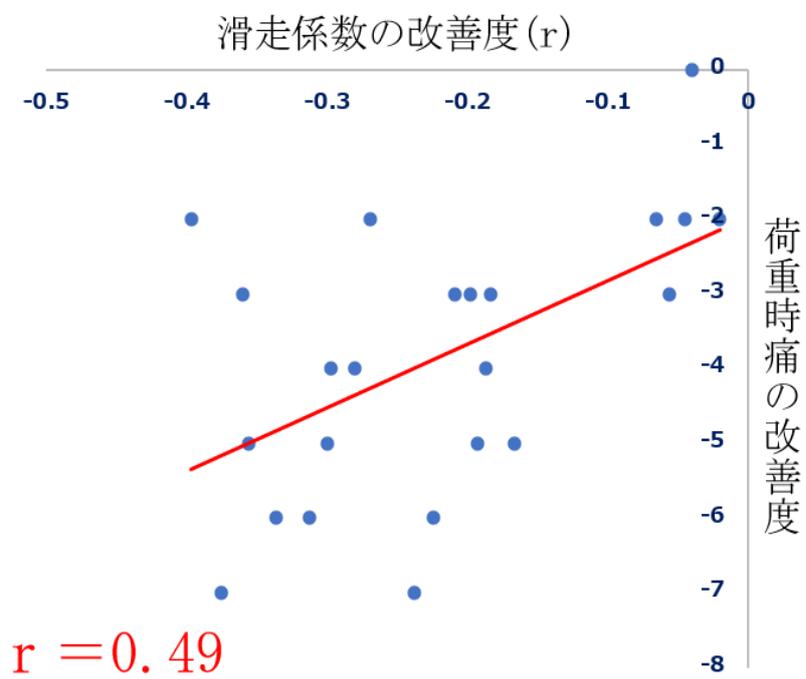


図 3-6 荷重時痛と滑走性の改善度の散布図

表 4-1 調査項目の相関関係

	皮下組織厚	密性結合組織厚	疎性結合組織厚	密性結合組織比率	全結合組織厚	股外転可動域	股屈曲可動域	膝屈曲可動域	股外転筋力	膝伸展筋力	大腿外側部痛
滑走性	0.58**	0.15	-0.22	0.41**	0.02	0.22	0.30	0.13	0.13	0.11	0.39*
皮下組織厚	-	0.28	0.21	0.02	0.29	0.26	0.25	0.06	-0.17	-0.01	0.40*
密性結合組織厚	-	-	0.53**	0.003	0.92**	-0.04	-0.09	-0.13	0.04	0.04	0.18
疎性結合組織厚	-	-	-	-0.77**	0.80**	-0.01	0.16	-0.21	-0.18	0.11	-0.10
密性結合組織比率	-	-	-	-	-0.33	0.09	-0.12	0.19	0.29	-0.08	0.33
全結合組織厚	-	-	-	-	-	0.01	0.02	-0.17	-0.05	0.09	0.08
股外転可動域	-	-	-	-	-	-	0.25	0.16	-0.36	-0.15	0.32
股屈曲可動域	-	-	-	-	-	-	-	0.25	0.19	0.20	-0.28
膝屈曲可動域	-	-	-	-	-	-	-	-	0.06	0.003	0.19
股外転筋力	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.62**	-0.26
膝伸展筋力	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.10
大腿外側部痛	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

* P < 0.05, ** P < 0.01

表 4-2 滑走性関連因子の重回帰分析

従属変数	独立変数	標準化偏回帰係数(β)	偏回帰係数(B)	標準化係数	t 値	P 値	95% 信頼区間		分散拡大係数
							下限	上限	
滑走性	密性結合組織比率	0.42	0.008	0.003	2.40	0.02	0.001	0.015	1.25
	皮下組織厚	0.48	0.018	0.007	2.67	0.01	0.004	0.033	1.33
	大腿外側部痛	0.05	0.003	0.010	0.277	0.78	-0.019	0.024	1.54

R-squared, 0.43; Adjusted R-squared, 0.36

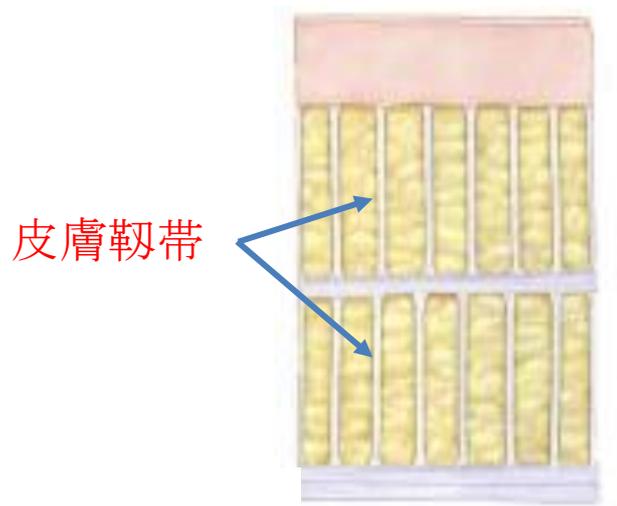


図 4-1 皮膚靱帯の構造[56]

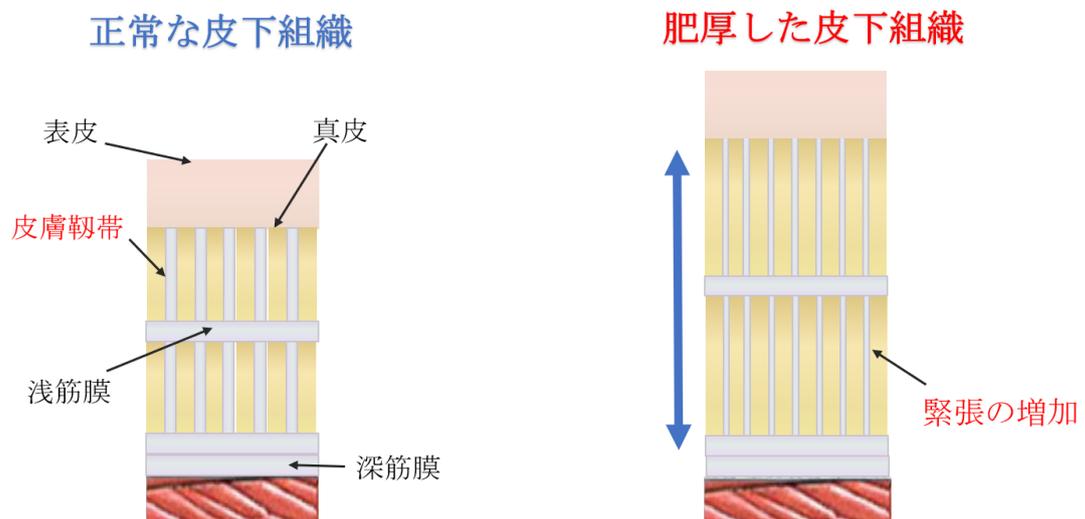


図 4-2 皮下組織の厚みの違いによる皮膚靱帯の変化[56] 一部改変



図 5-1 弾性包帯の装着方法
(a) 前面 (b) 側面 (c) 後面

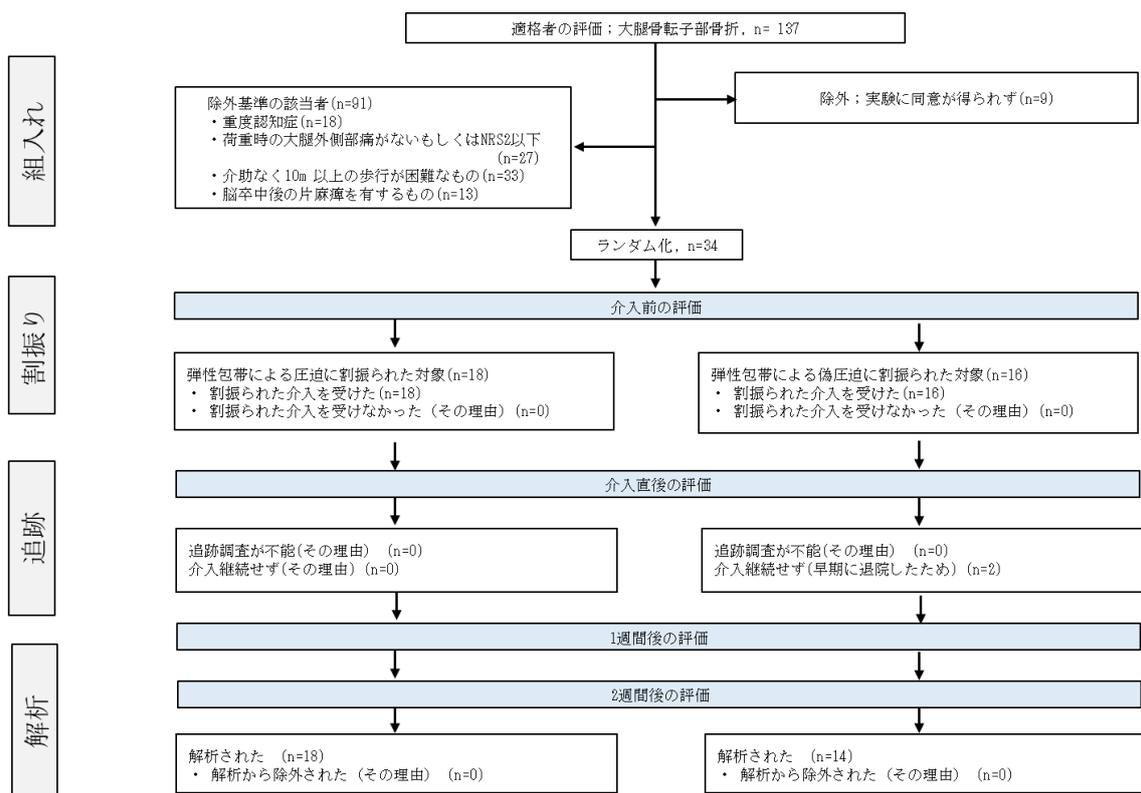


図 5-2 実験フローチャート

表 5-1 対象の基本属性

変数	Compression group (n=18)	Sham group (n=14)	P値
年齢, 平均 ± 標準偏差 (yr)	79.7 ± 15.5	85.8 ± 6.5	0.698
性別, 男性;女性 (n)	4; 12	2; 12	0.284
骨折型, 安定;不安定 (n)	11; 7	7; 7	0.494
手術から介入までの期間, 平均 ± 標準偏差 (d)	32.5 ± 8.6	34.1 ± 21.2	0.518
滑走性	0.54 ± 0.12	0.51 ± 0.17	0.172
荷重時痛	4.9 ± 1.2	5.3 ± 1.3	0.801
伸張時痛	2.2 ± 2.0	2.1 ± 1.9	0.862
収縮時痛	2.5 ± 2.3	2.6 ± 2.0	0.906
圧痛	3.4 ± 2.6	2.8 ± 2.4	0.399
安静時痛	0.4 ± 1.2	0.9 ± 1.6	0.278
皮下組織厚 (mm)	5.7 ± 3.9	5.2 ± 3.1	0.866
歩行速度 (m/s)	0.67 ± 0.34	0.70 ± 0.21	0.852
Stride time variability	3.5 ± 1.3	5.3 ± 3.9	0.106
単脚支持期割合 (%)	30.1 ± 5.7	28.7 ± 4.8	0.101
両脚支持期割合 (%)	36.8 ± 9.6	39.9 ± 8.5	0.890
股関節外転筋力 (KgF)	5.9 ± 4.1	4.4 ± 3.5	0.235
膝関節伸展筋力 (KgF)	8.5 ± 4.7	7.8 ± 3.3	0.405
股関節屈曲可動域 (°)	105.0 ± 13.1	102.5 ± 9.6	0.103
股関節内転可動域 (°)	12.5 ± 6.9	12.1 ± 4.9	0.596
膝関節屈曲可動域 (°)	136.7 ± 16.9	129.3 ± 22.0	0.076

表 5-2 メインアウトカムに対する反復測定 2 元配置分散分析と事後検定

変数	介入前	介入直後	1週間後	2週間後	群		時期		群 × 時期		Tukey
					F	P値	F	P値	F	P値	
滑走性					26.311	< 0.001 *	18.301	< 0.001 *	4.892	0.003 **	‡,§, ,¶
Compression group	0.54 ± 0.12	0.42 ± 0.12	0.29 ± 0.11	0.22 ± 0.07							
Sham group	0.51 ± 0.14	0.57 ± 0.13	0.46 ± 0.16	0.41 ± 0.14							
荷重時痛					37.848	< 0.001 *	31.071	< 0.001 *	3.349	0.021***	†,‡,§, ,¶
Compression group	4.9 ± 1.2	3.2 ± 1.6	1.6 ± 1.4	0.8 ± 0.6							
Sham group	5.3 ± 1.3	4.6 ± 1.6	3.6 ± 1.5	3.2 ± 1.4							
皮下組織厚					3.785	0.044***	0.302	0.824	0.216	0.885	
Compression group	5.2 ± 3.1	4.5 ± 2.6	4.3 ± 2.4	4.0 ± 2.2							
Sham group	5.7 ± 3.9	5.8 ± 3.8	6.0 ± 4.5	5.2 ± 3.6							
歩行速度					1.929	0.167	3.020	0.033 ***	0.588	0.624	§
Compression group	0.67 ± 0.34	0.78 ± 0.39	0.93 ± 0.45	0.99 ± 0.44							
Sham group	0.70 ± 0.21	0.72 ± 0.20	0.77 ± 0.19	0.84 ± 0.15							
Stride time variability					4.408	0.058	2.160	0.096	1.256	0.293	
Compression group	3.5 ± 1.3	4.1 ± 2.0	4.6 ± 1.8	2.9 ± 1.5							
Sham group	5.3 ± 3.9	4.8 ± 2.3	4.4 ± 2.0	3.8 ± 1.1							
単脚支持期割合					0.598	0.441	0.931	0.428	0.364	0.779	
Compression group	30.1 ± 5.7	31.2 ± 5.7	31.7 ± 4.3	30.9 ± 8.2							
Sham group	28.7 ± 4.8	29.6 ± 3.5	30.9 ± 3.3	31.9 ± 3.8							
両脚支持期割合					0.959	0.330	3.454	0.019 ***	0.344	0.793	§
Compression group	36.8 ± 9.6	35.9 ± 9.4	34.5 ± 7.3	31.5 ± 8.8							
Sham group	39.9 ± 8.5	37.9 ± 7.8	34.0 ± 5.1	33.0 ± 5.7							

* P < 0.001 ** P < 0.01 *** P < 0.05 † ; 介入前 v.s. 介入直後 , ‡ ; 介入前 v. s. 1週間後 , § ; 介入前 v. s. 2週間後 , || ; 介入直後 v. s. 1週間後 , ¶ ; 介入直後 v. s. 2週間後

表 5-3 サブアウトカムに対する反復測定 2 元配置分散分析と事後検定

Variable	Pre	Post	1 week	2 weeks	Groups		Time		Groups × Time		Tukey
					F	P-value	F	P-value	F	P-value	
Stretch Pain					0.220	0.640	3.316	0.022***	0.302	0.824	§
Compression group	2.17 ± 2.0	1.6 ± 1.8	1.2 ± 1.2	0.6 ± 0.9							
Sham group	2.10 ± 1.9	1.9 ± 2.4	1.0 ± 1.7	1.1 ± 1.7							
Contraction Pain					2.187	0.142	6.384	< 0.001*	1.010	0.391	§, ¶
Compression group	2.5 ± 2.3	2.3 ± 2.0	0.7 ± 1.0	0.3 ± 0.5							
Sham group	2.6 ± 2.0	2.1 ± 2.3	2.1 ± 2.0	1.1 ± 1.9							
Tenderness Pain					0.115	0.735	7.023	< 0.001*	0.812	0.490	‡, §, ¶
Compression group	3.4 ± 2.6	2.7 ± 2.5	1.1 ± 1.2	0.8 ± 1.3							
Sham group	2.8 ± 2.4	2.0 ± 2.1	1.9 ± 2.5	0.9 ± 1.6							
Rest Pain					2.402	0.124	1.159	0.328	0.239	0.869	
Compression group	0.4 ± 1.2	0.3 ± 0.7	0.2 ± 0.6	0.1 ± 0.2							
Sham group	0.9 ± 1.4	0.4 ± 1.0	0.6 ± 1.0	0.2 ± 0.7							
Hip Abduction Muscle Strength					5.769	0.018***	1.381	0.252	0.120	0.948	
Compression group	5.9 ± 4.1	5.8 ± 4.0	7.4 ± 5.0	8.1 ± 5.2							
Sham group	4.4 ± 3.5	4.5 ± 3.3	5.4 ± 3.2	5.7 ± 2.7							
Knee Extension Muscle Strength					6.150	0.015***	2.719	0.047***	0.390	0.761	§
Compression group	8.5 ± 4.7	10.0 ± 5.7	11.7 ± 7.1	13.5 ± 6.6							
Sham group	7.8 ± 3.3	7.8 ± 3.0	8.9 ± 3.3	9.9 ± 3.2							
Hip Flexion Range of Motion					3.550	0.062	8.706	< 0.001*	0.434	0.729	‡, §, ¶
Compression group	105.0 ± 13.1	108.1 ± 10.8	114.7 ± 8.1	118.0 ± 7.8							
Sham group	102.5 ± 9.6	107.5 ± 8.4	110.0 ± 7.8	112.5 ± 7.5							
Hip Adduction Range of Motion					0.000	0.999	1.142	0.335	0.030	0.993	
Compression group	12.5 ± 6.9	14.2 ± 6.5	13.6 ± 5.5	14.4 ± 5.0							
Sham group	12.1 ± 4.9	13.9 ± 4.7	13.6 ± 5.2	15.0 ± 4.2							
Knee Flexion Range of Motion					2.657	0.106	0.529	0.663	0.043	0.988	
Compression group	136.7 ± 16.9	136.9 ± 16.1	140.0 ± 15.6	140.3 ± 16.5							
Sham group	129.3 ± 22.0	131.8 ± 21.8	133.2 ± 21.5	136.8 ± 22.4							

* P < 0.001 ** P < 0.01 *** P < 0.05 †; Pre v.s. Post, ‡; Pre v.s. 1weeks, §; Pre v.s 2 weeks, ||; Post v.s. 1weeks, ¶; Post v.s. 2weeks

表 5-4 交互作用を有した項目の反復測定 1 元配置分散分析と事後検定

変数	介入前	介入直後	1週間後	2週間後	F	P値	Tukey
滑走性							
Compression group	0.54 ± 0.12	0.42 ± 0.12	0.29 ± 0.11	0.22 ± 0.07	31.440	< 0.001*	†,‡,§, ,¶
Sham group	0.51 ± 0.14	0.57 ± 0.13	0.46 ± 0.16	0.41 ± 0.14	2.805	0.059	
荷重時痛							
Compression group	4.9 ± 1.2	3.2 ± 1.6	1.6 ± 1.4	0.8 ± 0.6	36.141	< 0.001*	†,‡,§, ,¶
Sham group	5.3 ± 1.3	4.6 ± 1.6	3.6 ± 1.5	3.2 ± 1.4	5.347	0.003**	‡,§

* P < 0.001 ** P < 0.01 † ; 介入前 v.s. 介入直後 , ‡ ; 介入前 v.s. 1週間後 , § ; 介入前 v.s. 2週間後 , ||; 介入直後 v.s. 1週間後 , ¶; 介入直後 v.s. 2週間後

表 5-5 比率尺度の調査項目での改善量に対する反復測定 2 元配置分散分析と事後検定

変数	介入直後-介入前	1週間後-介入前	2週間後-介入前	群		時期		群 × 時期		Tukey
				F	P値	F	P値	F	P値	
歩行速度 (m/s)				18.169	< 0.01*	10.616	< 0.001*	0.730	0.485	†, ‡
Compression group	16.6 ± 15.4	40.5 ± 26.3	54.2 ± 33.0							
Sham group	2.7 ± 12.4	14.7 ± 29.0	25.3 ± 27.9							
股関節外転筋力 (KgF)				0.149	0.701	4.986	0.009**	0.128	0.880	‡
Compression group	9.3 ± 34.5	42.0 ± 57.4	56.6 ± 55.1							
Sham group	8.6 ± 24.9	43.5 ± 63.7	72.3 ± 132.3							
膝関節伸展筋力 (KgF)				2.923	0.091	4.982	0.009**	0.082	0.921	‡
Compression group	20.6 ± 26.1	49.0 ± 62.1	74.3 ± 62.7							
Sham group	5.3 ± 25.7	28.4 ± 69.0	46.9 ± 82.5							

* P < 0.001 ** P < 0.01 † ; 介入直後-介入前 v.s. 1週間後-介入前 , ‡ ; 介入直後-介入前 v.s. 2週間後-介入前