

講座

編集部員から



前十字靭帯損傷に対する自己治癒を目指した 保存的治療法の現在

国分貴徳

要 旨

現状の前十字靭帯 (Anterior Cruciate Ligament: ACL) 損傷に対する治療の Golden Standard は、自家腱を用いた外科的再建術である。この事実はここ 30 年以上変わっていない。しかしながら、様々な理由から手術による治療を希望しない患者も多いというのが現実であるが、最終的には放置すれば変形性膝関節症の発症リスクが高まるという懸念から、止むを得ず再建術を選択している。これに対し著者は、完全損傷 ACL を自己治癒へ導く保存的治療法の確立へ向け、前臨床動物モデルによる実験を行ってきた。この成果を所属機関のホームページにて公開すると、実験動物を用いた基礎研究であるにもかかわらず、多くの患者から保存的治療について直接問い合わせを頂いた。幸いにしてその中の何名かの方々については、メール等で連絡をとりながら経過を追わせていただくことができた。当然ながら、全ての方々を最後までフォローできたわけではないが、中にはこまめに経過をご報告頂き、幸いにして非常によく治癒する結果となり、スポーツ活動などへも問題なく復帰した例が複数あった。本稿では、そのような患者の経過について紹介することで、ACL 損傷に対する自己治癒を目的とした保存的治療法の現在について概観したい。

キーワード

前十字靭帯損傷, 自己治癒, 保存的治療法

1. はじめに

ヒトの身体には、二足歩行を開始したときから背負った宿命ともいべき構造的な非合理性が複数あるが、その際たるものの一つが膝関節であろう。“皿”とも形容し難い程の深さしかない脛骨高原の上に、楕円ではあるものの球面が2つ並んだ大腿骨顆部が載る。その表面は極めて低摩擦で、氷上をスケートで滑る時の3倍以上とも言われる¹⁾。このような事実を列挙するだけでも、ハード面の構造には安定性など皆無であると言っても過言ではあるまい。ヒトはこの構造的に不安定な膝関節を、半月板や靭帯といった結合組織性の非収縮性軟部組織により受動的に制御した上で、骨格筋により能動的に制御することで関節運動を行い、多様な身体運動を可能にしている。

このことからわかるように、ヒトの膝関節において非収縮性軟部組織損傷が頻発することには必然性がある。実際、膝関節周囲のスポーツ障害・外傷の発生頻度を調査した報告では、来院した膝スポーツ障害患者のうち、靭帯損傷と半月板損傷は約50%を占めていたと報告されている²⁾。このように発生頻度が非常に高い膝関節周囲の軟部組織であるが、特に損傷の多い靭帯や半月板には血管の浸潤が乏しく、一度損傷すると極めて低治癒能であるために外科的介入が必要となる。中でも最も高頻度で発生する前十字靭帯 (Anterior Cruciate Ligament: ACL) では、完全損傷すると自己治癒しないため、自家腱を用いた外科的再建術が治療の主流となっている。完全損傷したACLが治癒しないという事実は、ヒトに限らずこれまでに多くの実験動物によっても確認されてきており、30年以上にわたって整形外科領域の常識として認知されてきた。

これに対し筆者らは、臨床における装具を使用した完全損傷ACLに対する保存的治療法の報告³⁾を基として、損傷ACLの自己治癒を目指した保存的治療法の確立へ向け、実験動物モデルを用いた前臨床研究を行ってきた。この研究では、齧歯類の実験動物 (マウスやラット) を使用してACL損傷モデルを作成し、ACL

E-mail: kokubun-takanori@spu.ac.jp

Up to date: non-surgical treatment expected to spontaneous healing for anterior cruciate ligament

埼玉県立大学大学院 研究科 (343-0036・埼玉県越谷市三野宮820番地)

Takanori Kokubun: Graduate School of Health, Medicine and Welfare, Saitama Prefectural University Prefectural University

の機能が失われたことによる関節運動の変化に着目した。ACL損傷後に生じる脛骨の前方変位という異常関節運動が、ACLの治癒反応に影響を及ぼしているのではないかとの仮説に基づき、装具を模した形で異常な脛骨変移を制御する介入を行って経過を観察した(図1)。結果として、ACL損傷後も正常に近い関節運動を維持することで、完全損傷ACLであっても一定期間経過後には自己治癒することを報告した(図2)。更

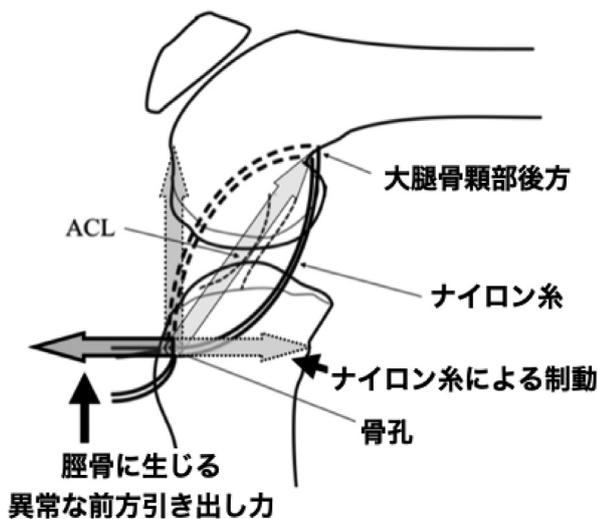


図1 ラットACL損傷後脛骨前方変移制動モデル

ACL損傷に伴い生じる脛骨の前方引き出しを、関節包外で制動するモデルを開発した。我々はこのモデルを、Controlled Abnormal Tibial Translation (CATT) Modelと呼んでいる。

に、この治療法により治癒したACLは、正常の50%程度の強度まで回復することを明らかにした⁴⁾。この研究は、臨床における治療介入方法の確立へ向けた、実験動物を用いた前臨床研究であったにもかかわらず、成果が論文として公開され、所属機関のホームページを介して一般に向けたアウトリーチを行うと、国内外のACL損傷患者当事者から非常に多くの問い合わせをいただいた。多くの患者さんが様々な理由から非外科的かつACLの治癒が期待できる保存的治療法を切望され、自身の状態についてACL保存的治癒の可能性を問われた。問い合わせ頂いた患者さんの多くは、実際にACLを完全損傷し「外科的再建術が適応」と診断された状態から、一縷の望みをかけて保存的治療法に取り組まれた結果として多くの方から完全損傷ACLが保存的に治癒したとの報告を受けた。その中には問題なくスポーツ活動へも復帰し、依然と変わらぬレベルでプレーしているケースもある。筆者が直接介入したケースはごくわずかであるが、多くの方に対してメール等を通じて経過をサポートさせて頂くことができた。本稿ではその中から、仔細な報告をいただいた方々のうち、経過を公開することに同意をいただいた方の治療経過について記す。また、もう一名の方については、受傷後から筆者が関わったケースで、理学療法も担当した方を紹介する。本稿が、同じようにACL損傷に対する保存的治療を希望される患者さんや、彼らを担当する医療従事者の方々へのヒントになれば幸いである。

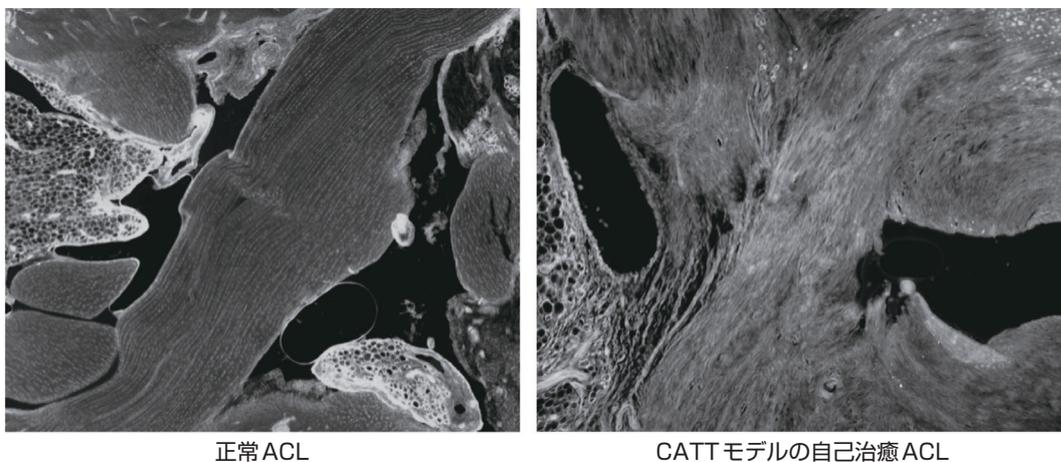


図2 ラット正常ACLとCATTモデルの自己治癒ACLの組織像⁴⁾

正常ACLでは、コラーゲン線維が規則的に配列され、核も長軸方向に整列している。一方、CATTモデルでは、損傷したACL断端が再接続して連続性を持っている像が確認される。

2. ケース報告

1) ケース1：46歳女性

スポーツ活動：スキー，トライアスロン，ロードバイク等

〈損傷から保存的治療開始までの経過（図3）〉

2019年1月2日

ジョギングの合間に跳び蹴りの動作をして、左足を着地した際にビリッとなり受傷。

その後痛みが生じたため、膝を伸ばさないようにし、テーピングとアイシング等のケアを行っていた。

2019年1月4日

病院を受診し、MRIを撮影してACL損傷の診断。そのままギプス固定となる。

2019年1月11日

ギプス固定を解除し、リハビリテーションを開始。日常生活では軟性膝装具の使用へ移行した。リハビリテーションの内容は、膝関節の関節可動域運動と周囲筋のトレーニングなどから開始し、当初は膝下にタオルを入れてのタオル潰しと臥位でのお尻上げを行っていた。次第に回復する過程に合わせて、お尻上げからの片足支持、胡坐での股関節開排ストレッチ、スクワット動作や足踏みなどが追加されていった。

2019年3月3日

上記を継続することで徐々に筋力は回復。膝裏のつっぱり感があり、正座は難しいが、入浴時に継続してマッサージすることで可動域は拡大していった。

2019年4月13日（画像）

受傷後2回目のMRI撮影。画像所見として、靭帯の修復像が確認され、主治医より経過良好との判断あり。歩行時や動作時の膝関節不安定感はなく、正座も多少のツッパリ感や痛みはあるが可能に。この頃より少しずつ軽めのジョギングを再開した。リハビリを継続していることで、筋力回復も徐々に感じられ、動作時の不安定感はかなり減少していた。

2020年1月頃～

10km程度のランニングを実施しても痛み等はなく問題ないが、継続した違和感があり、その影響が左股関節付近を痛め、湿布等で対応した。しかしながら2度ほどスキーにも行き、趣味やトレーニングも楽しめる程度まで回復した。

2020年7月20日（画像）

受傷後3回目のMRI撮影。よりACLに連続性が確認され、画像上は組織が安定してきた。半月板には陈旧性の軽度の亀裂が確認された。しかしながら痛み等、特に動作上の支障になるようなことはなく、そのまま経過観察となった。

2022年3月

その後膝関節の異常や違和感等もなく、順調に経過し、ジョギングやウォーキング、バイクなどのスポーツ動作を積極的に行っているが、不調や違和感を感じることもなく、不安はなし。

〈総評〉

本ケースは損傷後急性期に一週間のギプス固定後、軟性装具を使用しながら保存的治療を目指してリハビ



2019年1月4日

2019年4月13日

2019年7月17日

図3 ケース1のACL損傷から治療経過MRI像

完全損傷し、ACL部に連続性が見られない状態から、三か月時点では広がりながらも連続性が確認される。7月時点では、クリアな連続性が確認され、医師からも「縮まってきた」との総評があったとのこと。

リテーションを開始した症例である。最終的には、受傷以前のスポーツ活動へ復帰し、不安なく実施できるまでに回復した。

受傷起点からも分かるように、本ケースは受傷以前の活動性が非常に高く、保存的治療過程においても、積極的にリハビリテーションに取り組んでいた。一方、受傷当初は、一週間のギプス固定を行い、その後軟性装具を継続して使用していたため、損傷側の膝関節へ受傷後早期に過度な負荷がかからなかったことが、結果として初期の治癒反応を阻害せず、治癒に繋がったと考えられる。受傷後3ヶ月時点で、損傷断端に連続性を認めており、比較的早期から順調に治癒が進んだことが示唆される。回復過程の中で、病院でのリハビリテーションに加えて、積極的な運動をケース自身が取り組んでいたことも、治癒過程にある靭帯に対して適度な刺激が加わり、回復を促進していったと考えられる。受傷後一年の時点で、スキーにも復帰し、ランニングも10km程度まで実施可能になるなど、順調な回復を遂げている。一方、痛みとは違う膝関節周囲の違和感は経過を通してしばらく継続して感じており、その中でスポーツ動作を継続することで、他部位

へ負荷がかかり炎症を発するなどの経過もあったとのことである。しかしながら、最終的には膝関節の違和感はほぼない状態で、受傷以前のアクティビティを獲得している。

2) ケース2: 42歳女性
 スポーツ活動：特になし

〈損傷から保存的治療開始までの経過（図4）〉

2022年8月15日

朝通勤中に、右足のつま先が点字ブロックの地面に引っ掛かり転倒。右膝を捻りながら打撲し、痛みと腫れがでたため病院受診。初診時所見は、右膝関節は完全伸展不可（-5度）で、屈曲は60度で痛みにより制限。超音波診断により、関節内出血用の所見（+）

2022年8月18日

MRI検査を実施し、前十字靭帯不全損傷と後十字靭帯 (Posterior Cruciate Ligament: PCL) 損傷との診断。その他、半月板等の関節内組織には異常を認めず。

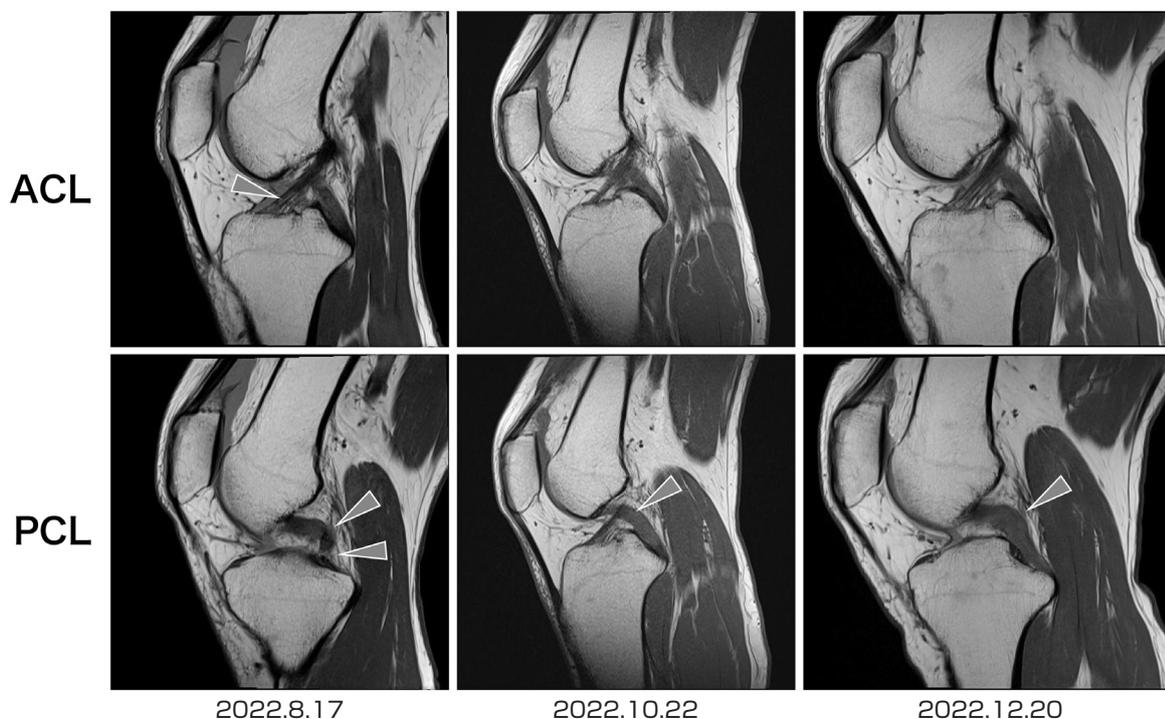


図4 ケース2のACL・PCL損傷から治癒経過MRI像

受傷後早期はPCLの完全断裂とACL損傷初見を認めるが、2か月後にはACL治癒し、PCLにも連続性を認める。4か月経過時点では、PCLの連続性は保たれているものの、やや腫大しており正常よりも太い形状を呈している。

2022年8月20日

装具の着用開始。日常生活上で四節リンク膝装具（4BL装具，有菌製作所）を常時着用し，膝関節の異常な運動を制御した。

2022年8月29日～10月15日

超音波治療目的で6回通院。その間，装具を着用して通勤等は通常通り行っていたものの，特に運動・リハビリテーション等は実施せず。

2022年10月22日

2回目のMRI検査実施。この時点で，PCLは再接続を認め，信号上昇と腫大は認められるものの治療傾向に。ACLは正常に近い所見に戻っており，別に顆間隆起部に骨髄浮腫を認めたものの，関節液量に関しては正常レベルであった。

上記のMRI画像診断結果を踏まえ，装具着用してのウォーキングと膝関節屈曲90度までのスクワットを指示し，セルフでの実施を開始。

2022年11月3日，28日

超音波治療目的で来院。28日時点で，セルフケアの状態を確認すると，ウォーキングのみであったため，再度スクワットも実施するよう指示。

2022年12月21日

超音波治療目的で来院。

2022年12月24日

3回目のMRI検査実施。ACLには異常所見認めず。PCLは，やや腫大が増悪傾向を認めた。

2022年12月26日

超音波治療目的で来院。MRI検査の結果を踏まえ，日常生活における装具の使用終了を指示。

2023年1月5日

理学療法開始。初診時点で，右膝関節の伸展制限が-20度前後あるも，筋力低下はそれほどなく，日常生活動作では特に問題なし。膝関節の可動域制限の改善と，それに伴い生じた股関節の伸展制限，および腰部筋の張りなどの左右差に対してアプローチ開始。自主トレとして，腹臥位での自重による膝関節伸展運動のみ指導。

2023年1月26日～4月8日

理学療法目的に5回来院。伸展制限は-5度前後まで改善。その他機能面では左右差減少し，問題なしに。

〈総評〉

本ケースは，不幸にしてPCL完全損傷と，ACL不全損傷を受傷した。もともと活動性が高いわけではなく，

損傷後も特別な運動等は行わず，装具を着用しての日常生活の継続と2-3週に一回の定期的な理学療法受診のみであった。使用した装具は，四節リンク膝装具で，四節リンク機構によって膝の滑りと転がり運動を再現することを目指した支柱付軟性装具である。本ケースは，もともと日常的に運動を行っていたわけではなく，かつACLとPCLの同時損傷という膝関節の安定化機構としては比較的悲劇的な損傷であったが，早期から膝関節運動のサポート力の高い装具を使用していたため，良好な経過を辿った。損傷から靭帯の治療を認めるまでの経過期間中は，特に積極的な運動やリハビリテーションを行っていたわけではなく，装具着用下で損傷以前と同様の生活を続けてもらった。その間，装具の効果もあってか膝関節の不安定性を感じたり，異常運動が生じたり等の靭帯治療にとって有害事象となりうることもなかったため，時間と共に順調に治療していったと考えられる。理学療法開始時点においての問題点としてとしては，軽度の膝関節伸展制限が認められ，最後まで残存していた。本ケースはPCL損傷を併発しているため，当然ながらその影響によるものである可能性は高いが，装具使用によって，完全伸展および深屈曲が行いにくくなっていた状態が約4か月間続いたことも影響している。また，ケース1に比べ，積極的な運動期間が少なかったことも関節可動域制限の要因の一つと考えられる。しかしながら，関節内にある十字靭帯双方が損傷していたにもかかわらず，双方が治療したという点を考慮すると，早期に積極的な運動をした場合に果たして同様の結果が得られたのかは未知数である。

3. 考察

近年，ACL損傷に対する再建術の施行は，平均で損傷から4-5か月前後に行われることが一般的となっている。現状の前十字靭帯損傷に対する診療ガイドライン（2019，改訂第3版）を見てみると，外科的再建術の時期については「受傷後早期（3-6か月以内）に行うことを推奨する」とされている。さらに近年のsystematic Review & Meta-Analysisでも，早期再建と遅延再建間に差がないことが示されている⁵⁾。一方で当然ながらACLを損傷した状態の膝関節には不安定性が生じるため，損傷から外科的再建術を施行するまでの期間が長いと，半月板や関節軟骨などの周囲組織を二次的に損傷する可能性は高くなる。そのため，極早期の再建を支持する報告もあるが，近年では概ね損

傷後3-6か月前後で再建術が施行されている。この現状も後押ししてか、近年臨床研究や臨床報告として、ACL完全損傷例でも保存的に治癒するケースの報告が増加している。今年、比較的若く、プロフェッショナルのスポーツ選手でないACL損傷者を対象とした調査において、約30%の患者で完全損傷ACLが治癒していることをMRI上で確認し、それらの患者の膝関節機能が、再建術を実施した患者に比べ良い成績であることが報告された⁶⁾。この報告でも、損傷から再建術施行までの間にMRI撮影を行い、治癒を確認しているケースが含まれているが、現在の再建術までの期間を考慮すると、今後は同様の報告が増えてくると考えている。

しかしながら現状ACL損傷患者に対しては、当然ながら損傷ACLは自己治癒しないことを前提とした上で、外科的再建術による治療を前提としてその準備のための術前リハビリテーションが実施される。この“Pre-operative Rehabilitation”の内容としては、術後のリハビリテーションがスムーズに実施されるよう、損傷肢の筋力トレーニングや全身的な有酸素運動などが行われる。とりわけ、大腿四頭筋とハムストリングスの筋力は、古くから医師の注目度も高く、定量性の高い計測機器を使用している施設も多い。施設によっては損傷肢の筋力回復の程度を、外科的再建術を行う基準としているところもあるとも聞く。そのため術前リハビリテーションにおいても積極的に行われることも多い。当然ながら、スポーツ等への復帰には筋力が重要であることは否定しない。一方で、この術前リハビリテーションのタイミングは、完全損傷ACLを自己治癒に導くためのケア・マネジメントにとって最も重要なタイミングである。今回紹介した2ケースについては、初診時には再建術の必要性を伝えられたものの、当初より自己治癒を目指した保存的治療を希望され、靭帯の治癒にネガティブな影響を及ぼさないようマネジメントを行った結果、幸いにして手術することなく治癒へ導くことができた。すなわち、損傷したACLを自己治癒に導くという視点からは、損傷後早期からの積極的なリハビリテーションが治癒を目指す上ではNegativeに働いてしまう可能性がある。このことから、ACL損傷後術前リハビリテーションを実施する上で、担当するセラピストの思考に“損傷ACLが自己治癒する可能性”が含まれているか否かによって、患者のACLが治るケースと治らないケースが生じてくるのではないかと考えている。この視点が広く整形外科医や理学療法士に広がっていけば、完全損傷ACLであっても自己治癒するケースが増えてきても

不思議ではない。しかしながら、現状のリハビリテーションにおいては、医師や理学療法士が、損傷ACLの自己治癒を念頭に置いて術前リハビリテーションを実施していることはないと思われる。

筆者が思い描くACL損傷に対する治療選択の未来は、まず全ての患者が第一選択として自己治癒を目指した保存的治療法を実施し、自己治癒の可能性を探索する。再建術が行われる平均的なタイミングに近づく損傷後3か月頃までにMRIを撮影し、不幸にして治癒が得られなかったケースに対し、二次的に再建術を施行するという治療スキームである。これは、現状の再建術が施行されるタイミングを考えると、決して実現不可能な治療スキームではない。一方で、アスリートなど早期に高いレベルのスポーツ活動や高強度の作業などへの復帰等が求められる特定の患者においては、早期から再建術が選択されるべきである。この治療スキームであれば、患者にとって最も低リスクでありながら、効果的な治療を選択できるようになるのではないかと考えている。

今後、ACL損傷に対する保存的治療法が、患者の治療選択における一つの選択肢となっていくためには、まだまだ明らかにしなければならない点も多い。中でも、保存的治療法を実施するための根拠として、損傷ACLが自己治癒するための条件（損傷タイプ、合併症の影響など）を明らかにすることが、その最初の一步になると考えている。この点については筆者のグループが、ACLの保存的治療法は、ACL損傷に多いとされるACL中央部損傷および大腿骨側損傷のいずれにおいても適応可能であることを報告している⁷⁾。また、治癒経過の中で、治癒靭帯がどのタイミングでどの程度までの強度を回復していくのか、またその強度回復に、リハビリテーションは如何にして貢献できるのかについても、今後の基礎的な知見の蓄積が待たれる。患者が、どのぐらいのタイミングで、どのぐらいの強度の身体活動レベルへ復帰することを希望するのかというニーズにも依存するが、ACL損傷患者にとって、保存的治療法が治療の選択肢となりうる時は限りなく近づいている。

4. 結語

“完全損傷ACLは自己治癒しない”，これまで長らく信じられてきたACL損傷に関する基本的な考え方は、今後転換されていくかもしれない。当然ながら本稿で記した方々は、幸いにして保存的にACLが自己治癒し

たいわゆる“Happy Case”であった可能性は否定できない。しかしながら、ACL損傷後早期復帰が必要となるアスリートとは異なり、外科的再建術の施行に急を要さない一般の方々や、再建術の適応か否かの判断が難しい骨端線閉鎖前の成長期前後患者に対しては、外科的再建術を待つまでの間に治癒を目指した保存的治療法を実施することは、医学的にも社会的にも大きな意義があると考えている。本稿が、ACL損傷に対する保存的治療法の科学的基盤の確立と、臨床的知見の積み重ね推進の一助となることを切に願う。

文献

- 1) 立石哲也. バイオメカニクス～機械工学と生物・医学の融合～. オーム社. 2010.
- 2) 小林志, 宮本誠也, 佐々木香奈, 片岡洋一, 島田洋一. 膝関節周囲のスポーツ障害・外傷の調査. 東北膝関節研究会会誌. 2014; 23: 59-62.
- 3) Ihara H, Miwa M, Deya K, et al.: MRI of anterior cruciate ligament healing. *Journal of Computer Assisted Tomography*. 1996; 20(2): 317-321.
- 4) Kokubun T, Kanemura N, Murata K, et al.: Effect of Changing the Joint Kinematics of Knees With a Ruptured Anterior Cruciate Ligament on the Molecular Biological Responses and Spontaneous Healing in a Rat Model. *The American Journal of Sports Medicine*. 2016; 44(11): 2900-2910.
- 5) Shen X, Liu T, Xu S, et al. Optimal Timing of Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in Patients With Anterior Cruciate Ligament Tear: A Systematic Review and Meta-analysis. *JAMA Netw Open*. 2022; 5(11): 1-14
- 6) Filbay SR, Roemer FW, Lohmander LS, et al. Evidence of ACL healing on MRI following ACL rupture treated with rehabilitation alone may be associated with better patient-reported outcomes: a secondary analysis from the KANON trial. *Br J Sports Med*. 2023; 57(2): 91-98.
- 7) Kano T, Kokubun T, Murata K, et al. Influence of the site of injury on the spontaneous healing response in a rat model of total rupture of the anterior cruciate ligament. *Connective Tissue Research*. 2022; 63(2): 138-50.