

Physical Therapies in Sport and Exercise

スポーツ リハビリテーション

最新の理論と実践

編 G.S.コルト
L.スナイダー=マクラー

監訳 守屋 秀繁

西村書店

訳者一覧

監訳者

守屋 秀繁 (もりや・ひでしげ)
千葉大学大学院医学研究院整形外科学 教授

訳者

守屋 秀繁 (もりや・ひでしげ)
千葉大学大学院医学研究院整形外科学 教授
第1章

園田 昌毅 (そのだ・まさき)
川鉄千葉病院整形外科 部長
第2, 3章

南出 正順 (みなみで・まさゆき)
稲毛整形外科 院長
第4章

西須 孝 (さいす・たかし)
千葉県こども病院整形外科 医長
第5章

村田 淳 (むらた・あつし)
千葉大学医学部附属病院リハビリテーション部 部長
第6, 7章

大鳥 精司 (おおとり・せいじ)
千葉大学大学院医学研究院整形外科学
第8章

道永 幸治 (みちなが・こうじ)
船橋整形外科 院長
第9章

渡辺 朋子 (わたなべ・ともこ)
千葉大学大学院医学研究院整形外科学
第10章

北原 聡太 (きたはら・そうた)
千葉大学大学院医学研究院整形外科学
第11章

土屋 敢 (つちや・かん)
川鉄千葉病院整形外科
第12章

蓮江 文男 (はすえ・ふみお)
君津中央病院整形外科
第13章

高橋 和久 (たかはし・かずひさ)
千葉大学大学院医学研究院整形外科学 助教授
第14章

菅谷 啓之 (すがや・ひろゆき)
船橋整形外科スポーツ医学センター 部長
第15章

藤田 耕司 (ふじた・こうじ)
川鉄千葉病院整形外科 部長
第16章

阿部 圭宏 (あべ・よしひろ)
熊谷総合病院整形外科
第17章

土屋 明弘 (つちや・あきひろ)
船橋整形外科スポーツ医学センター センター長
第18章

松木 圭介 (まつき・けいすけ)
千葉大学大学院医学研究院整形外科学
第19章

和田 佑一 (わだ・ゆういち)
帝京大学医学部附属市原病院整形外科 教授
第20章

佐粧 孝久 (さしょう・たかひさ)
千葉大学大学院医学研究院整形外科学
第21章

渡辺 淳也 (わたなべ・あつや)
千葉大学大学院医学研究院整形外科学
第22章

栃木 祐樹 (とちぎ・ゆうき)
University of Iowa, Department of Orthopaedics and Rehabilitation
Assistant Research Scientist (Orthopaedic Biomechanics)
第23章

亀ヶ谷 真琴 (かめがや・まこと)
千葉県こども病院整形外科 部長
第24章

田原 正道 (たはら・まさみち)
千葉東病院整形外科 医長
第25章

安宅 洋美 (あたか・ひろみ)
松戸市立病院整形外科 医長
第26章

吉永 勝訓 (よしなが・かつのり)
千葉県千葉リハビリテーションセンター センター長
第27章

森川 嗣夫 (もりかわ・つぐお)
川鉄千葉病院整形外科 部長
第28章

西川 悟 (にしかわ・さとる)
西川整形外科 院長
第29章

山口 智志 (やまぐち・さとし)
千葉大学大学院医学研究院整形外科学
第30章

Gabriel Ng 南出正順 訳

はじめに

筋骨格系は人体の形態と運動に関与する。筋肉と神経が動力の源であるのに対し、骨、軟骨、関節包と靱帯は体にかかる負荷に対する構造的な強度を与えている。

スポーツ外傷・障害では、2つ以上の構造物や組織が障害されることが多い。組織の構造と機能を理解することは、リハビリテーションプログラムの作成やスポーツ選手が受傷前のレベルや活動に復帰する一助となる。

発生

人間の生命は精子が卵子と受精した瞬間から始まる。最初の7週までは胚芽期、8週目から出生までが胎児期である(White et al 1991)。胚芽期の最初の4週で神経組織と体節が形成され、筋肉と間葉組織に分化していく。間葉(中胚葉)が骨、軟骨、靱帯などの結合組織(結合織)の先駆物である。

基本的に、人体は上皮、神経、筋と結合組織の4つの特徴的な組織型を含む(Whiting & Zernicke 1998)。上皮組織が器官を覆っており、構造的支持体として機能し、上皮と隣接する区画の物質輸送に関して半透膜バリアを形成している。神経組織は外胚葉から分化し、電気信号をやり取りすることで体内の通信手段となっている。3番目の組織は筋肉で、骨格筋、心筋、平滑筋の3型が存在し、すべて電気刺激に反応して収縮する。最後の組織は結合組織であり、重量比60%の水からなる細胞外基質の中にある細胞の集合体として存在する(Wheater et al 1991, Whiting & Zernicke 1998, Woodard & White 1986)。靱帯は結合組織の一形態として分類される。

靱帯の構造と生化学

靱帯 ligament の語源はラテン語で“結合”を意味する“ligare”に由来している(Dye & Dilworth Cannon 1988)。紀元前3000年初頭には Smith Papyrus(パピルス)の中に関節捻挫に関する記述があり、紀元前400年にはヒポクラテスが靱帯損傷の治療について記している。靱帯について西暦130年に Galen が正確な記載をしている(Snook 1983)。この記述に先立って、靱帯は神経に類似するものなんらかの収縮力を擁すると考えられていた。1830年には Schleiden と Schwann が厚い結合組織の中に細胞と長い線維束を見だし、さらに20年後、Rudinger と Hilton が靱帯の中に神経組織を発見し、靱帯-筋のフィードバックシステムを唱えた(Frank & Shrive 1994)。

靱帯はほとんどがコラーゲンからなる密なる通常の結合組織の一形態に分類される(Whiting & Zernicke 1998)。一般的に、靱帯は少なくとも2種類の小グループに分けられる。1つは関節部の骨格を形成する靱帯、もう1つは腹腔臓器を懸垂する靱帯である(Frank et al 1985)。大部分の骨格靱帯は解剖学的に異なっており、密度の濃い、比較的血行の少ない、しかしながら外見上は均一な様相を呈している。顕微鏡レベルでは、靱帯は互いに平行に並んでみえる個別の線維を含んでいる。線維に沿って紡錘形の線維芽細胞が散在し、周囲の基質を産生し、維持している(Amiel et al 1984, Murray & Spector 1999)。

Frank と Shrive (1994) によれば、骨格靱帯の機能として下記を挙げている。

- 関節をまたいで2つの骨をつなぐ付着部
- 関節の動きを誘導
- 関節の適合性を維持
- 関節の位置覚センサーとしての機能

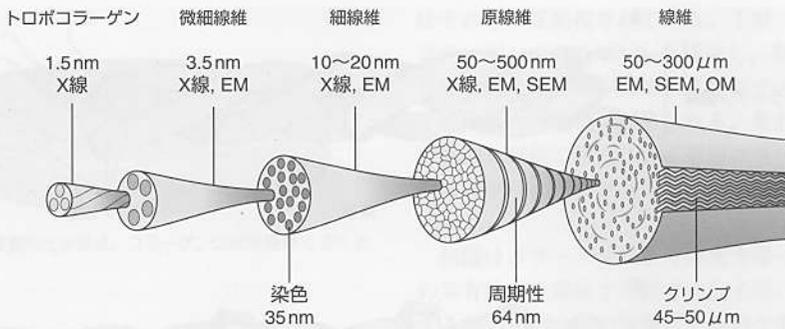


図 4.3 靭帯実質部におけるコラーゲンの階層的構造の模式図

EM=電子顕微鏡, SEM=走査電子顕微鏡, OM=光学顕微鏡 (Connective Tissue Research の許可を得て Kastelic et al 1978 より改変, Copyright 1978 from the Multicomposite Structure of Tendon by J Kastelic et al. Taylor & Francis, Inc. の許可を得て複製. <http://www.routledge-ny.com>)

している。微細線維は細線維になり 50~500 nm の原線維に凝集している, さらに原線維は直径 50~300 μm の線維となり, 光学顕微鏡で視認できるコラーゲンの最小単位を形成している (Frank & Shrive 1994)。

偏光顕微鏡で靭帯を観察すると, アコーディオンのような細胞と基質の波状構造の特徴ある形態がみられ, 靭帯の“クリンプ”として知られている (Dale et al 1972, Dale & Baer 1974, Minns et al 1973, Murray & Spector 1999, Patterson-Kane et al 1997, Yahia & Drouin 1989)。クリンプは平行に配置された結合組織の中で特異な形態をしている。この形態が力学的な負荷のバッファーとなっており, いかなる急速な外力に対しても靭帯の波状構造が伸びることでその線維をダメージから守っている (Dale et al 1972, Diamant et al 1972, Oakes 1994, Viidik 1980)。

クリンプパターンは組織に特異的で, それがコラーゲンの波状構造を決定し, 維持していることは比較的知られていない。これらの仮説のなかで, コラーゲンのプロテオグリカンの相互作用が最も広く受け入れられている (Viidik 1980)。Shah ら (1977) は, クリンプが伸びるときは, その末端が伸ばされることによって起こるものであり, クリンプの角度は常に一定に保たれることを示した。このことによってクリンプの接合部でコラーゲン線維は互いに角度を保っておりクリンプ末端で形成される複合部より強固であることを示唆している。

靭帯骨移行部は別の力学的バッファーを供給している。Cooper と Misol (1970) の初期の研究で, 骨格靭帯は単純に Sharpey 線維で骨に固着しているのではないとしている。ほとんどの靭帯は段階的に線維軟骨層, 石灰化線維軟骨層に移行して骨に付着している。この力学的に異なる強度をもった各組織が多層構造をとることにより, 応力の集中を避け, 衝撃を広い範囲に分散させることが可能となっている。

超微細構造レベルにおいて, Parry らは電子顕微鏡

を使い, 様々な動物の異なる年齢の結合組織の分析に先鞭をつけた (Parry & Craig 1977, 1979, Parry et al 1978a, 1978b)。彼らはコラーゲン線維の直径を定量し, その所見に基づき, コラーゲン線維のサイズと組織の力学的特性との関係を提唱した

さらに最近では多くの研究者が超微細構造での形態を正常靭帯および腱そして修復下の組織において研究している (Chapman 1989, Frank et al 1989, 1992, 1997, Matthew & Moore 1991, Neurath & Stofft 1992, Ng 1995, Postacchini & De Martino 1980)。その結果, 正常の成人靭帯と腱のコラーゲン線維の直径は二峰性分布を示すことが確認された。修復下の靭帯では, 修復初期には小径線維が均一に分布しているものが, 時間がたつにつれて徐々に大径線維になっていくのが確認された (Frank et al 1992, 1997, Ng 1995, Oakes et al 2000, Postacchini & De Martino 1980)。これはおそらく治療過程における力学的負荷の影響によるものと考えられている。

バイオメカニクス

靭帯は特異な力学的特性を備えた粘弾性構造物である。靭帯の引っぱり負荷に耐える能力がしばしば競技レベルを決定する (Woo et al 1990)。靭帯の力学的特性を理解することが, その機能的な安全限界を決定するに際し, 重要である。靭帯破断時の損傷の程度はかけられた負荷の強度と頻度の両者に相関する (Nordin et al 2001)。

他の軟部結合組織と同様に, 靭帯のバイオメカニクスの特性は構造と材質の見地から考察される。構造的特性は靭帯の物理的特性であり, サイズ, 形状と外力からのアライメントに左右される。靭帯を形成している材質の構造的特性に関連した材質的特性は存在部位や角度には依存しない。

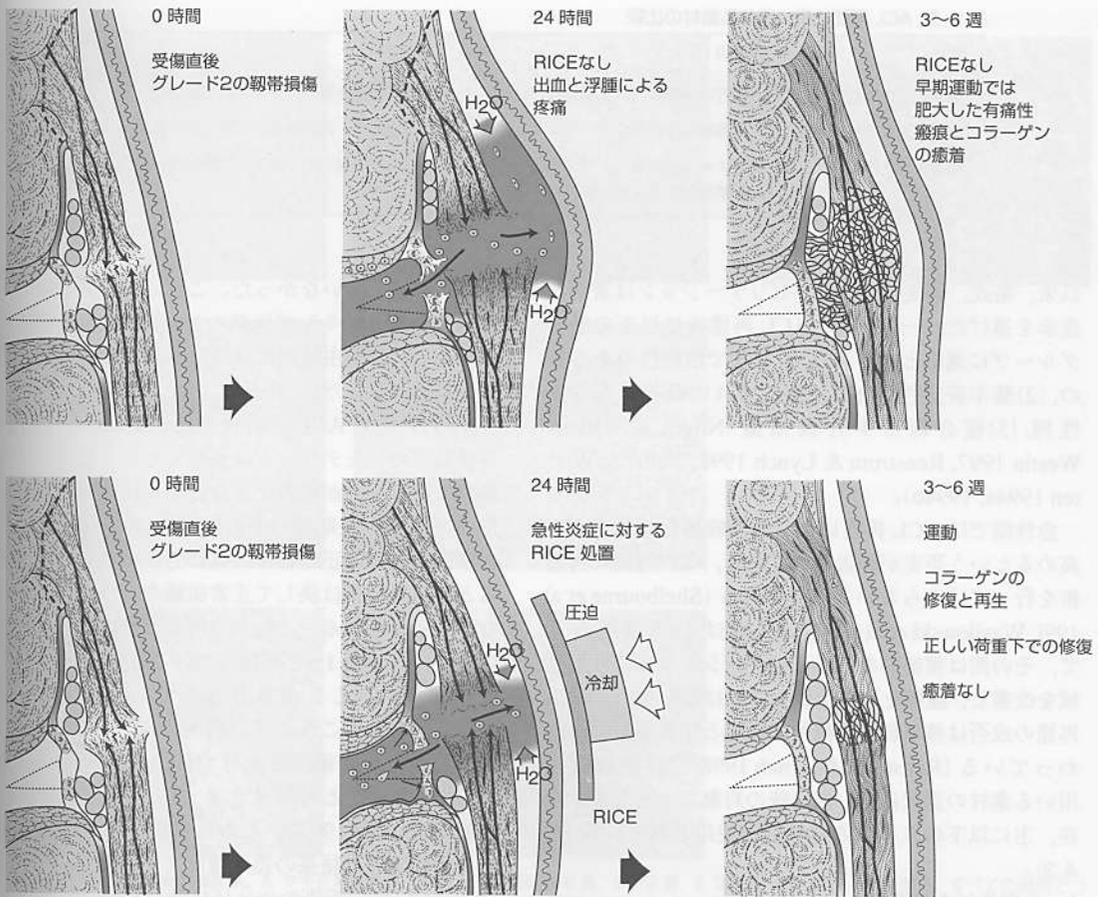


図4.9 RICEの有無 早期運動による靭帯修復 (Oakes B W 1992 The classifications of injuries and mechanisms of injury repair and healing : Bloomfield J, Fricker P A, Fitch K D [eds]. Textbook of science and medicine in sport. p 201, 209 より, Blackwell Scientific Publications [www.blackwell-science.com] の許可を得て複製)

近づいていく。Ng (1996b) らのヤギ ACL 修復実験の3年経過観察実験では、ACL 前内方束を内固定として温存し、後外側束を鋭的に切離して、靭帯損傷を作成し、修復を試みた。修復した靭帯は術後1年で正常靭帯強度の75%に回復していた。3年後では、正常靭帯の強度を28%上回っていた。構造的剛性も時間を追うごとに改善し、3年で正常値の97%に達していた。しかしながら、ヤング率の改善は剛性と併行せず、3年で72%にしか達しなかった。電顕による修復靭帯の観察では、3年経過例でのコラーゲン線維のほとんどが100nm以下の小径線維で構成され、マトリックスの中に散在する大径線維はほとんど認められなかった。さらに、修復した靭帯の横断面積は3年で50%にしかならなかった (Ng 1995)。

Ngらの研究結果は2つの重要な点を包含している。1つ目は、清潔な創部と断端が密に接しているような不全断裂という理想的な状況下では、ACLの治癒は可能であるということである。十分な時間があれば、修復組織は正常靭帯の構造的特性に近似することが可能である。この事実はほかの研究者によって異な

る動物モデルと靭帯によって支持されている (Chimich et al 1991, Hefti et al 1991)。2つ目は、修復されたACLの物質的特性は3年を経過した時点でも正常組織に劣っているということである。修復靭帯の良好な最大破断強度と剛性は、瘢痕組織の肥厚によるところである。肥厚した瘢痕が構造的強度を増大するにもかかわらず、より多くのスペースを占めるため、特に関節内靭帯で問題となる。関節内の巨大な肥厚した組織はほかの関節内構造物に絞扼され、長期的には変性をもたらす結果となる (Kannus & Järvinen 1987)。

靭帯移植片

靭帯移植、特にACL再建はこの過去20年間、臨床および基礎科学での研究で注目されてきた。ここでは、ACL自家腱移植における生物学的、バイオメカニクス的研究とリハビリテーションの見地から焦点を当ててみる。

Hey Groves (1917) によるACL再建の最初の報告