６．馬にみられる病気⑭

競走馬の腱・靭帯と腱・靭帯疾患　その１

軽種馬育成調教センター　調査役　吉原　豊彦

これまで競走馬の運動器のうち、骨および筋組織とそこにみられる様々な疾患について解説してきました。今号からは、馬が速く走る上で大きな役割を果たしている腱や靭帯、そして走能力の高い競走馬に発症しやすい屈腱炎など腱や靭帯についての構造や機能とそこにみられる障害などについて解説します。

馬の脚部にある腱靭帯の位置とその名称

一般に、腱はその働きにより、関節を曲げる作用をする**屈腱**と伸展させる働きのある**伸腱**に区別されます。**屈腱**は運動時に四肢を屈曲させるため、四肢の掌側に分布しており、反対に四肢を前方に伸ばす**伸腱**は四肢の前側にあります。それでは馬の四肢に分布する腱について説明します。馬の下脚部には**浅指**（**趾**）**屈筋腱**（解剖学では前肢の場合は**指**で、後肢は**趾**で表現されます。）、**深指**（**趾**）**屈筋腱**、**中骨間筋**（別名は**繋靭帯**です。）および**総指伸筋腱**（後肢では**長趾伸筋腱**と表記）が分布しています（**図１**）。

四肢の管部中央の断面では、第三中手（足）骨の前面に**総指伸筋腱**（後肢では**長趾伸筋腱**）が走行し、第三中手（足）骨の後面から外側に向けて、**中骨間筋**（**繋靭帯**）、**深指**（**趾**）**屈筋腱**および**浅指**（**趾**）**屈筋腱**の順で並んでいます（**図１**）。

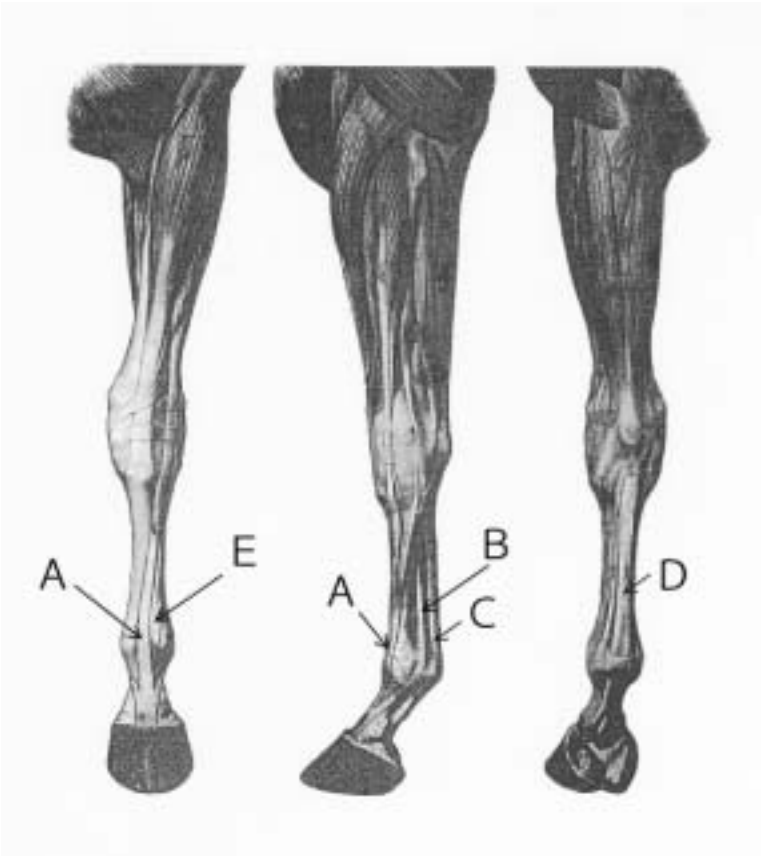

図１　馬の前肢（左側）の腱の分布と位置
左図：前面　中央：側面　右図：後面
A:総指伸筋腱　B:中骨間筋（繋靭帯）
C:深指屈筋腱　D:浅指屈筋腱　E:外側指伸筋腱

次に、腱の走行と機能について説明しますと、**浅指屈筋腱**は上腕骨橈側上顆に起こり、腕節部以降は腱質となって第三中手骨掌側の最表層を下降して球節部で**腱輪**をつくり、一部は下降し基節骨（第一指骨）と中節骨（第二指骨）で終わっています。この腱の作用は、腕節および球節を屈曲させるとともに球節の沈下を抑えます。**深指屈筋腱**は、橈骨後面で**浅指屈筋腱**の深部にあります。その元である**深指屈筋腱**は３頭に分かれて、上腕骨橈側上顆、橈骨後面および尺骨上部に起こり、腕節後下部から**支持靭帯**を加えて１本の腱にまとまって末節骨（蹄骨）の屈筋面で終わります。この腱は蹄角度の起臥と関係があり、蹄角度が起きると弛み、臥せると緊張します。**中骨間筋**（**繋靭帯**）は、組織学的に腱とほとんど異なることはありませんが、第三中手骨の近位付着部にわずかですが筋肉が残っていることから、別名で**中骨間筋**と呼ばれます。これは中手骨近位端掌側面に起き、中手骨の下部１/３で２枝に分かれ２個ある種子骨をそれぞれ保定し、**総指伸筋腱**に合流して終わっています。その作用は、球節を正常な位置に保持する役目をしています。**総指伸筋腱**は、上腕骨尺側上顆から前肢の前面を下降して蹄骨の上部（伸筋突起）で終わっており、前肢を伸ばす働きをします（**図２**）。

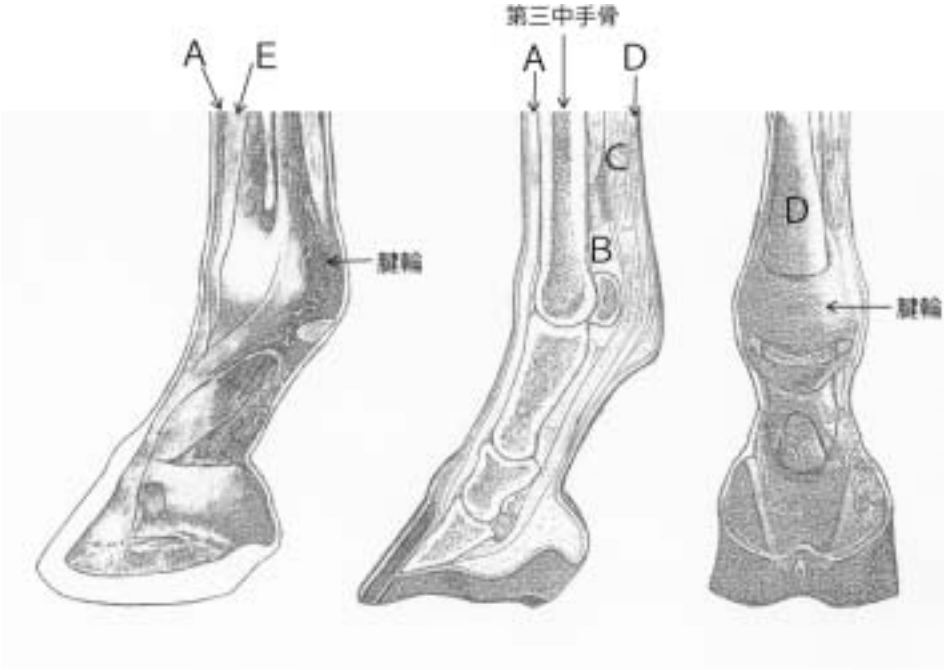

図２　馬の前肢下脚部の腱・靭帯

左図：前面　中央：側断面　右図：後面

A:総指伸筋腱　B:中骨間筋（繋靭帯）

C:深指屈筋腱　D:浅指屈筋腱　E:外側指伸筋腱

腱と靭帯の違いについて

皆さんは腱がなぜ存在するのか考えたことがありますか？筋は馬体を動かす働きをするため、骨に付着する必要がありますが、筋のように柔らかい組織は場所によっては硬い骨にしっかりと付着することは困難です。そのため筋と骨の間を結びつける役目を果たす組織として腱が存在するわけです。筋で産生された力は腱を介して骨に伝達されることで、関節を動かすことができます。

一般に、筋はその両端に腱を有していますが、脊椎骨や骨盤を構成する寛骨などに付着する筋では腱はみられません。筋と腱との間には**筋腱接合部**（myotendinous junction : MTJ）と呼ばれる部分があり、これを介して繋がっており、さらに骨と腱は**骨腱接合部**（osteotendinous junction : OTJ）という形で接続されています。

競走馬は速く走るため、馬体の上体部分は筋が発達していますが、四肢の末端に近い部分では、重量が軽くて強靭な**腱組織**で構成され、速く走り易い構造をしています。すなわち、重量の大きな筋を軽量化するため腱に置き換わり、腱を介して骨に接して馬体を動かしているわけです。腱は骨の表面を走行する部位では骨との摩擦を防ぐため**腱鞘**という鞘で包まれており、滑液によって腱の動きがスムーズに行われます。

腱に似たものとして**靭帯**があります。**靭帯**は構造的には腱とよく似ており、同様に結合組織で構成されていますが、腱よりもさらに組織の密度が高く、その役割は筋肉と骨を結びつけているのではなく、骨と骨を繋いでいます。すなわち、**靭帯**は関節において骨と骨が離れないようにする役割や関節が異常な方向へ屈曲しないように可動域を制限する働きをしています。関節に許容範囲を越えた無理な力が加わると、**靭帯**が引っ張られ、重度の場合には断裂や脱臼を発症します。**靭帯**には若干ですが弾力性があり、張力がかかると次第に伸びていくため、脱臼した場合にはできるだけ早

期に整復しないと元に戻りにくくなります。

腱の微細構造

腱は骨に骨格筋を固着させる強靭な結合組織からなる線維の束です。腱の長さは一定しておらず、さらに腱が着いている筋の形状により円筒状であったり扁平であったりします。腱が菲薄になったものを**腱膜**といい、**腱膜**ではしばしば広い筋表面を覆いながら、その内面に筋線維束が着きます。腱の外周は緻密な結合組織性の被膜で包まれ、**外腱周膜**と呼ばれます。これは腱内部に入り込んで小さなブロックからなる**小腱束**を分けています。**小腱束**を包む周囲の膜は**内腱周膜**と呼ばれ、腱内部の中隔の役割をしています（**図３**）。

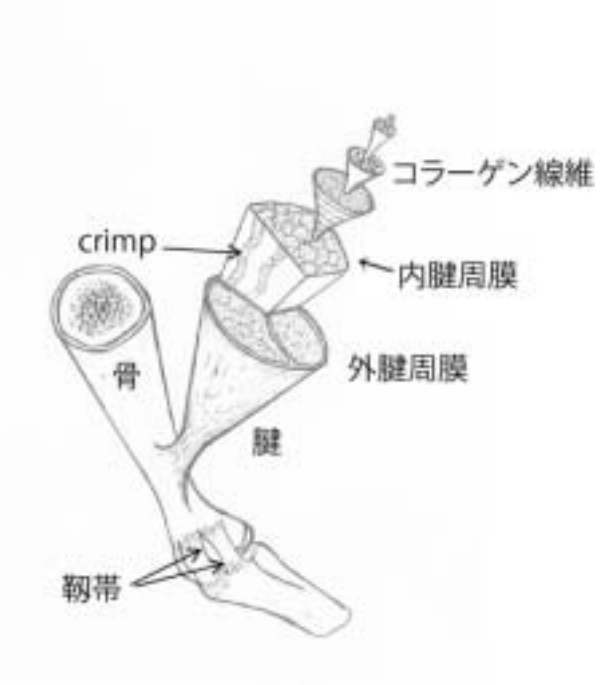

図３　腱の構造（模式図）
腱は筋と骨とを繋げ、靭帯は骨間を連絡する。腱の周囲には外腱周膜があり、小腱束は内腱周膜で包まれる。

筋が組織学的には筋細胞と結合組織から構成されているのに対し、腱は主に線維性結合組織でできています。腱は触ればわかりますが硬い組織で、細胞とその周りにある**細胞外マトリックス**(Extracellular Matrix:ECM)で構成されており、ECM は別名を**細胞外基質**とも呼ばれ、細胞を取り巻いて支持する役割を果たしている物質のことです（**表１**）。腱の細胞成分には**腱芽細胞**と**腱細胞**があり、**腱芽細胞**は球形、紡錘形など様々な形状をしていますが、細長い紡錘形の**腱細胞**へと変化し、**腱線維**と同じ方向に配列します。腱に存在する細胞の役割は、**細胞外マトリックス**の産生および分解と、それを腱組織として適した環境に構築することです（**表１**）。もともと腱には細胞成分や血管およびリンパ管の分布が少ないという特徴があります。これは筋と比べて細く硬い腱に細胞や血管が多く分布すると、大きな力がかかった時に壊れ易いためと考えられます。しかし、腱組織の神経分布は比較的多く、神経終末は**腱紡錘**と呼ばれる受容器に終わっています。**腱紡錘**は腱の緊張状態を反射的に中枢神経に伝える働きをしています。

表１　腱組織の構成

構成区分		成分
細胞成分	腱細胞・腱芽細胞	ECM の産生
細胞外マトリックス（細胞外基質：ECM）	線維性タンパク	コラーゲン・エラスチンなど
	接着性タンパク	フィブロネクチン・ラミニンなど
	非線維成分（ムコ多糖類）	グルコサミノグリカン(GAG)は、ヒアルロン酸、コンドロイチン硫酸などからなり、蛋白と共有結合してプロテオグリカンの形で存在

腱の結合組織は、主体が**膠原線維**（別名は**コラーゲン線維**）で互いに強固に結合し合い、線維間には腱細胞が存在しています。腱の**細胞外マトリックス**は複合体で、その主体は**コラーゲン線維**(Collagen fiber)で構成されますが、その形成や代謝についてはいまだ十分に分かっていません。腱の太い**コラーゲン線維**束からなる腱束やそれを取り囲む柔軟な結合組織の**腱周膜**、さらに**腱周膜**内を走行する血管にも**コラーゲン**が存在しますが、それらの場所に分布する**コラーゲン**および糖タンパク質の種類は異なっています。太い**コラーゲン線維**から成る丈夫な腱束と柔軟な**腱周膜**との力学的バランスが、腱の強度や耐久性に影響していると考えられます。馬では生後間もない子馬の腱でも既にかなり頑丈にできあがっています。生後間もなく起立できる草食動物の脚にある腱は、生存するために非常に大切な役割を果たすことから、母胎にいる間にほとんど完全な構造になって出生するものと考えられます。

コラーゲン線維について少し詳しく説明します。**コラーゲン**分子は長さが約 300nm（1 ナノメートルは 100 万分の 1mm）で、直径が約 1.5nm の非常に微小な棒状をしています。**コラーゲン**の 1 本のペプチド鎖（アミノ酸約 1,000 個が連結）の分子量は約 10 万で、3 本のペプチド鎖からなっている**コラーゲン**の分子量は約 30 万になります。**コラーゲン**分子はα鎖と呼ばれる左巻きのポリペプチド鎖が 3 本集まって螺旋構造をしており、この螺旋状の分子本体の両端から、本体とはアミノ酸組成の異なる部分がわずかに突き出ており、これはテロペプチドというもので、テロペプチドを持った**コラーゲン**が**トロポコラーゲン**と呼ばれ、構成単位になっています。この**トロポコラーゲン**が集まって太く長い線維を形成し、これは**コラーゲン**細線維(collagen fibril)と呼ばれ、さらに多量に集まって**コラーゲン線維**を形成します。**コラーゲン**細線維には約 65nm 周期の縞模様が観察されます（**図４**）。

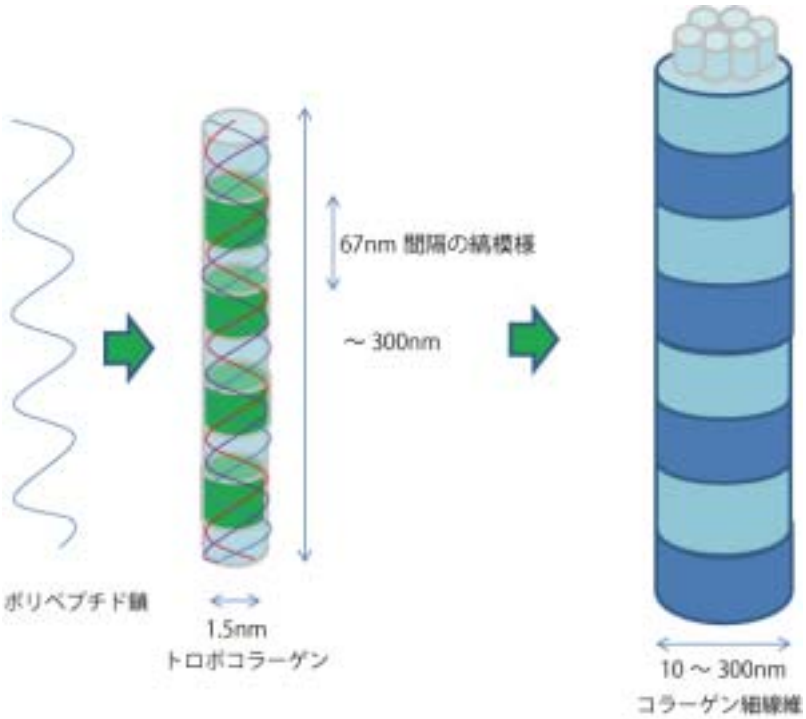

図４　　Ⅰ型コラーゲン線維（模式図）

コラーゲン分子は長さ約 300nm･直径が約 1.5nm の棒状で、このポリペプチド鎖が３本集まり、螺旋構造をしたトロポコラーゲンを形成する。これがさらに集まって太く長いコラーゲン細線維(collagen fibril)を形成する。コラーゲン細線維には 67nm 周期の縞模様が観察される。

コラーゲンにはいくつかの種類がありますが、異なる遺伝子に由来するα鎖およびその３本の組み合わせによって、現在のところ約 30 種あることが知られています。発見された順にⅠ型、II 型、III 型…と名付けられており、それぞれ一定の決まった構造をしています。生体内で最も豊富に存在しているのは**Ⅰ型コラーゲン**です。**Ⅰ型コラーゲン**が多く存在する組織は、骨、軟骨、腱、靭帯および皮膚等です。関節軟骨はⅡ型コラーゲンが主成分です。腱に存在するコラーゲンは約 98%が**Ⅰ型コラーゲン**であり、次いでⅢ型（2%以下）が多く、さらにⅣ型、Ⅴ型、およびⅥ型などから成っています。また腱の**コラーゲン線維**表面には XⅧ型および XIV型コラーゲンが存在すると考えられています。

腱を構成する**コラーゲン線維**には多数の分子が集まることによって出来る階層構造が存在します。**コラーゲン線維**束は、集まってさらに太い線維を構成します。腱の**コラーゲン線維**束にはⅠ型およびⅢ型コラーゲンを主成分とする**腱周膜**が存在します。**コラーゲン線維**束の中にある細線維や線維束中の線維も長軸方向あるいは水平方向に配列し、相互に交差したり螺旋構造や互い違いに組み合わさるような構造をしています。これによって引っ張り、剪断あるいは捻れといった力学的負荷に対して強い構造となっているものと考えられます。また、**コラーゲン線維**には顕微鏡的に crimp と呼ばれる波状構造があり、弾性を持っています。

腱の組成成分について

動物は様々な細胞から構成されていますが、それら細胞はそれぞれの役割を果たしながら生命活動を営んでいます。細胞はそこにある一つ一つの細胞の周りにある**細胞外マトリックス**という物質

に埋もれた状態で存在します。腱の**細胞外マトリックス**（**ECM**）の成分は、コラーゲンおよびエラスチンなどの線維性タンパクおよび非線維成分としてヒアルロン酸、コンドロイチン硫酸等の多糖類からなる**グルコサミノグリカン**（glycosaminoglycan：GAG）並びにこれら細胞との接着を調節するフィブロネクチンやラミニンなどの接着物質から成っています（**表１**）。

結合組織のみならず全ての組織に存在する**グリコサミノグリカン**（glycosaminoglycan：通常 GAG と略されます）はムコ多糖類で、その多くはプロテオグリカンとしてコアタンパク質に付加する形で存在しています。ムコ多糖類の代表的なものは、ヒアルロン酸、コンドロイチン硫酸およびデルマタン硫酸などがあり、細胞と細胞を繋ぎ合わせて粘りと保水性のある物質です。

ムコ多糖類にはスポンジのような性質があり、生体内に水分を蓄えるという重要な役割を果しています。生体内に多数ある細胞間には隙間があり、そこにムコ多糖によって蓄えられた体液が満たされています。この体液の役割は単に細胞の隙間を埋めているのではなく、毛細血管を経由して送られてきた酸素や栄養を生体の末端にある細胞まで送り届けるとともに、そこで産生される老廃物を細胞外に運び出す役目を果たしています。