

3 馬にみられる病気

競走馬の骨組織と骨疾患 その3

軽種馬育成調教センター 調査役 吉原 豊彦

前々号から継続して、馬の骨に関する様々な事柄を紹介しています。今回は、骨が持っている様々な性質について解説してみました。骨の保有している性質を十分に理解し、育成馬や競走馬が健康で丈夫な骨格を持つとともに、骨疾患の発症予防に役立てていただければ幸いです。

骨が持っている性質

1. 骨代謝と骨のリモデリング

骨はその表面が硬いため、一見するとほとんど変化しないように思われがちですが、その内部では絶えず壊しては造るといふあい反する作業が繰り返し行われており、非常に活発な活動をしているダイナミックな組織です。すなわち、骨の内部では、骨破壊を行う**破骨細胞**による**骨吸収**と、骨組織を造る**骨芽細胞**による**骨形成**とが絶えず行われており、骨を常に新しいものに置き換えています（図1）。この既存の骨を新生骨に置き換える骨の再構築過程を骨の**リモデリング**（remodelling：再構築、改変）と呼んでいます。骨のリモデリングは、約3ヵ月間かけて一回転する比較的ゆっくりした代謝であり、1年間で約20%の骨組織が入れ替わるといわれています。

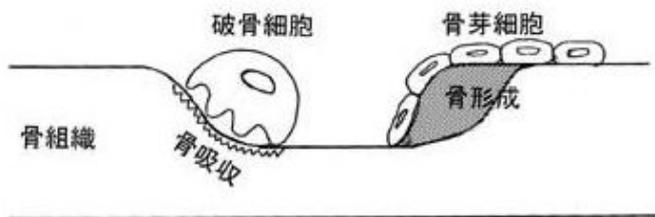


図1 骨のリモデリング

骨の内部では破骨細胞による骨吸収（破壊）と骨芽細胞による骨形成とが絶えず行われており、骨を壊しては造るといふ作業が繰り返されています。そのため、骨は約3ヵ月かけて常に新しいものに置き換わっており、これは骨のリモデリング（再構築）と呼ばれます。

健康なウマやヒトでは、破骨細胞による骨吸収と骨芽細胞による骨形成量はほぼ等しく、バランスがとれています。近年、老人が転倒したり、些細な原因で簡単に骨折してしまうので、高齢者にとっては大変関心の高いものに**骨粗鬆症**（osteoporosis：骨多孔症ともいう）があります。これは、骨を作る骨芽細胞と骨を破壊する破骨細胞のバランスが崩れて破骨細胞が活発に活動し、骨吸収が進行することにより骨密度の減少をきたす疾患です（図2）。

同様に、老齢馬で放牧されていてもあまり運動をしなくなったり、様々な運動器障害などでほとんど運動することがなくなると、当然筋肉が萎縮してきますが、同時に骨塩量も減少してきます。そのため、骨内部では体重を支えるために必要な骨梁部分を残して、不要な骨組織は破骨細胞の働きでどんどん骨が破壊・吸収されてしまいます。また、子馬で長期間にわたり下痢を患うと体内からどんどんカルシウムが溶け出してしまい、骨質に小さな穴が多数開いたようになることがあります。軽種の子馬は出生時に約50kg余りの体重ですが、1ヶ月後には2倍の約100kgに成長し、半年後には5倍の約250kgに達します。したがって、子馬にとって最も成長の早いこの時期に、様々な寄生虫感染症、細菌あるいは口タウイルス感染など、子馬に対して長期にわたる下痢を発症させることは、健康な発育を著しく妨げますので保健衛生管理上特に注意が必要です。

現役競走馬の大部分は成長期にある若馬です。骨の成長と同時に運動による骨への力学的負荷が増加するため、このような現象は起こりにくく、むしろ骨疾患としては強い運動負荷に伴い限局性骨硬化によると考えられる骨折のほうが問題となります。競走馬の骨折については、別の機会に詳しく説明したいと思います。

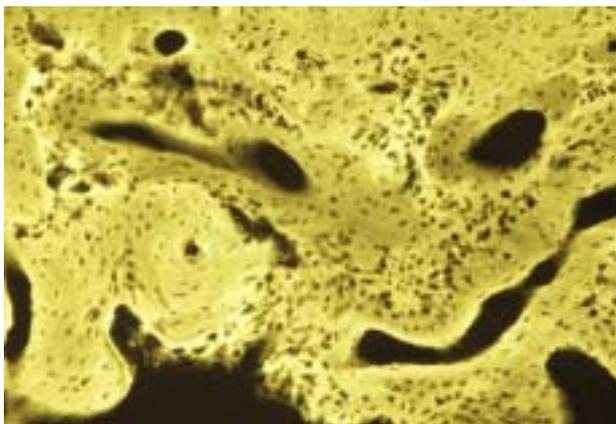
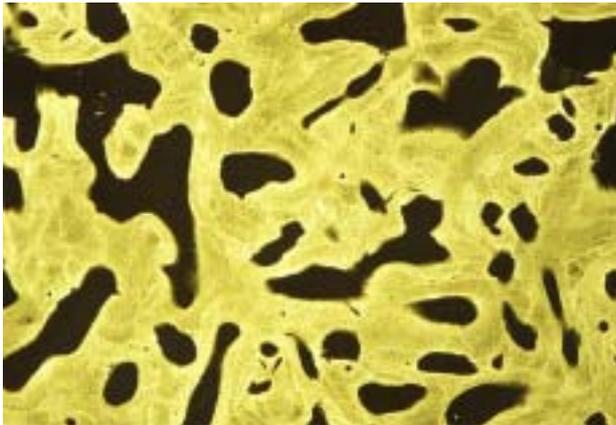


図2 骨粗鬆症（骨多孔症）

骨代謝の中で破骨細胞による骨吸収（破壊）と骨芽細胞による骨形成とのバランスが崩れて破骨細胞の活動が活発となり、骨吸収が進行することにより骨密度が減少する疾患を骨粗鬆症といいます。骨の内部が虫食い状態になり、骨の強度が著しく低下します。

上図：健康馬の海綿骨の断面の軟X線像

下図：骨粗鬆症のため虫食い状態になった海綿骨断面の軟X線像

2. ウォルフ(Wolff)の法則

生体は体を支える働きを果たしている骨にカルシウムを大量に蓄え、血中カルシウム濃度を一定濃度に保つ機能を持っています。ウマやヒトをはじめ動物の体を支える働きをしている骨の内部には、例えば家が倒壊しないように支持するための梁（はり）に相当する骨梁こつりょうと呼ばれる構造物が無数に走っています。この骨梁には多量のカルシウムが沈着しています。骨梁は、運動や体重の増減など力学的負荷に対応して増えたり減ったり変化する性質があります。すなわち、たえず強い力がかかるような運動を一定期間以上行えば骨梁は増え、逆に骨に負荷がかからなくなると骨梁は減ってきます（図3）。すなわち、ウォルフ（Julius Wolff 1836～1902）は、まだX線の発見（1895年）される以前に骨格標本の詳細な観察から、骨皮質と骨梁を一体のものとしてとらえ、骨皮質は多くの骨梁が集合して形成され、逆に骨梁は骨皮質から離れていくことにより菲薄化すると理解しました。そして、「機能のみが、骨組織あるいは他のいかなる組織も含めて、その再生の間に形態を決定する要素である」という新しい一般法則を見出しました。これは**ウォルフの法則**（Wolff's law）と呼ばれています。

宇宙の無重力に近い環境では骨への荷重負荷が減少し、骨からカルシウムは溶け出し、骨量の減少が起こります。ヒトの高齢者では骨粗鬆症が問題視されていますが、腰椎や大腿骨だいたいこつの骨密度は1年間に約1.0～1.5%減少すると考えられています。本年6月スペースシャトルに搭乗した6人目の日本人宇宙飛行士の星出彰彦さんは、国際宇宙ステーションの日本実験棟「きぼう」に船内実験室を取り付けて14日間の飛行を終えて無事帰還しました。非常に強靱な体力を持っている宇宙飛行士でさえも、無重力に近い環境で長期間過ごす、わずか1ヶ月間に約1.0～1.5%骨密度は減少し、骨量減少速度は日常生活の約10倍になるといわれています。

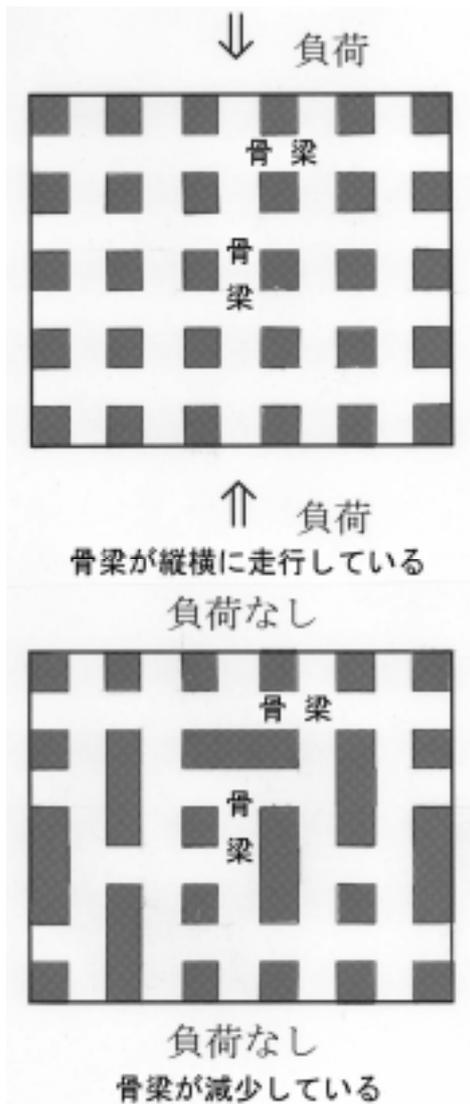


図3 ウォルフ(Wolff)の法則(模式図)

骨は絶えず強い力学的負荷をかけるような運動を続けて行えば骨増生し、逆に負荷がかからなくなれば骨はやせ細ってきます。

上図: 運動負荷により骨の強度を増すため骨梁が碁盤の目のように縦横に走行している。

下図: 運動負荷が無くなると、力学的負荷がかからない骨梁はどんどん消失していく。

3. ピエゾ電気(圧電気)

骨格は生体を支えていることから絶えず色々な力を受けているため、骨にはひずみがおこっています。

骨組織が圧縮を受けて陥凹する側にはマイナスの電荷が、逆に引っ張りを受けて突出する側の骨組織にはプラスの電荷が起こり、マ

イナス側には骨形成が、プラス側には骨吸収が生じることが知られています(図4)。骨のこのような現象は、最初は生体組織にのみ認められる現象と考えられていましたが、乾燥した骨や脱灰した骨においても同様に認められるため、骨コラーゲン線維のひずみにより生じる**ピエゾ電気(圧電気)**によるものと考えられています。

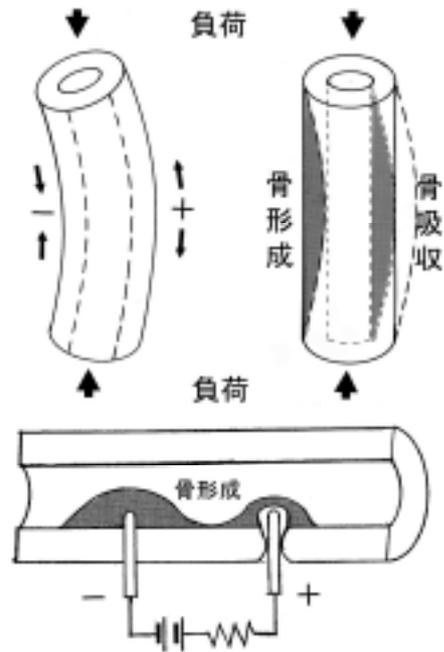


図4 ピエゾ電気(模式図)

骨は力学的負荷により圧縮されて陥凹する側にはマイナス電荷が、逆に引っ張りを受けて突出する側にプラス電荷が起こり、マイナス側には骨形成が、プラス側には骨吸収が生じることが知られています。このような現象は**ピエゾ電気(圧電流)**と呼ばれています。管骨(第三中手〔趾〕骨)にみられる管骨骨膜炎のように、強い運動負荷で骨が屈曲しやすい部位ではこのような現象によって骨形成が生じていると推測されます。

骨の構成成分

1. 骨の化学的組成

骨は有機質（本来は生物由来で生物体を構成・組織する、炭素を主な成分とする物質）および無機質（ミネラルとも呼ばれ、生体の成長・維持に不可欠な元素またはそれらの塩）によって構成されています。有機質はその約95%をコラーゲンが占めており、骨に弾力性を与える働きがあります。無機質には、カルシウム、リン酸、炭酸、クエン酸、ナトリウム、マグネシウムなどが含まれ、骨の50%～60%を占めています。無機物には骨の硬さを保つ働きがあります。したがって、若馬の骨は有機物に富むために弾力性があり、変形にも強く、骨折を起こしにくいのですが、高齢馬の骨は石灰質に富んでいるため硬く、しかも有機質が少なくなるために骨折を起こし易くなります。

健康な競走馬の骨組織のミネラル分析を行った結果を紹介します。材料は、サラブレッド種、雄、平均年齢5歳8ヶ月の成熟した競走馬の第三中手骨の遠位部8検体です。鋸断した骨片を十分に脱水および脱脂した後に乾燥し、粉碎後の骨粉を蛍光X線分析法によりミネラル分析（20元素）を実施しました。その結果、骨の成分はカルシウムおよびリンがその大部分を占め、特にカルシウムは非常に多く、次いでナトリウムとマグネシウムが多く含まれ、カリウム、亜鉛、アルミニウム、セレン、鉄などのミネラルが含まれていました（表1）。

2. 骨に含まれるミネラルや微量元素

ミネラルは、馬体を構成している骨格やその他の組織あるいは器官にイオンとしてまたは各種有機化合物との複合体として存在しています。ミネラルは馬体内における含有量によって、カルシウムCa、マグネシウムMg、ナトリウムNa、カリウムK、リンP、塩素Cl、イオウSからなる主要元素と、鉄Fe、銅Cu、亜鉛Zn、ヨードI、コバルトCo、マンガンMn、セレンSe、クロムCr、フッ素Fなどの微量元

素に区別されます。

表1 競走馬の第三中手骨のミネラル分析結果

元素名	平均値 (mg, %)	
Ca	20,050.0 ±	2099.4
P	12,375.0 ±	82.9
Na	874.8 ±	31.9
Mg	163.0 ±	21.4
K	10.6 ±	1.9
Zn	12.8 ±	1.63
Al	7.57 ±	1.37
Se	6.05 ±	1.8
Fe	11.87 ±	6.80
Si	3.90 ±	0.69
Hg	2.09 ±	0.22
Pb	1.79 ±	0.07
Cr	1.33 ±	0.45
Cd	1.06 ±	0.07
Cu	0.82 ±	0.03
Ni	0.82 ±	0.22
Mo	0.81 ±	0.09
Co	0.77 ±	0.04
As	0.56 ±	0.13
Mn	0.37 ±	0.03

ミネラルは、生体内で次のようないくつかの役割を果たしています。

馬体の構成成分として骨や歯に存在し、組織や器官に力学的強度を持たせています。体液中に溶解して浸透圧やpHを調節しています。

神経やホルモンなどの情報伝達の仲介をしています。

酵素や生理活性物質と結合し、その機能を調整しています。

動物やヒトが生きる上で、皆さんご承知のように塩は必須のものです。動物におけるミネラルの生理的役割は、先に述べましたが、ウマは草食動物であり、植物中にはミネラルや塩が余り含まれていないため、塩の補給が

必要なのです。アフリカに生息する野生象が、洞窟の中や地表面から露出している岩塩を舐めてミネラルを摂取している姿をドキュメンタリー映像でご覧になった方がいるかもしれませんが。ウマも塩が欲しくなると、飼葉桶、馬糞、岩などを舐めたりかじったりするようになります。そのような仕草が見えたら塩やミネラルの欠乏が疑われますので、普段から岩塩が自由に舐められるようにするとか、絶えず飼葉へ塩を添加してやるというわけです。

また、ミネラルの欠乏のみならず、各種ミネラルの作用が相互に関連もしています。マグネシウムはカルシウムとのバランスが重要であり、お互いに作用しあいながら神経や筋肉に影響を与えています。筋肉の収縮は、筋

肉細胞内にカルシウムが取り込まれることで起こり、マグネシウムは筋細胞内に入るカルシウム量を調節しています。マグネシウム欠乏の場合、カルシウム調節が円滑に行われなため、筋肉の痙攣（けいれん）を起こす原因になります。

最後に、ミネラルの欠乏症および過剰症について一表にまとめてみました（表2）。わが国の牧草やその生産基盤となる土壤に含まれる量の少ないといわれているコバルト、銅、セレンあるいは亜鉛などに関して十分に関心を持ち、管理する牧草や土壤の成分分析を定期的に行い、対策を図ることは、強く丈夫な軽種馬生産の基本であると思います。

表2 ミネラルの欠乏症および過剰症

元素名	欠乏症	過剰症
ナトリウム	成長抑制、塩摂取欲亢進、食欲減退、発汗減少	食欲減退、削瘦、浮腫
カリウム	成長抑制、食欲減退、下痢	浮腫、心不全
塩素	食欲減退、体重減少	食欲減退、体重減少、浮腫
カルシウム	骨発育抑制、骨強度低下、関節腫脹	クル病、骨軟症、異常石灰化
リン	食欲減退、異嗜症、成長抑制	副甲状腺機能亢進
マグネシウム	神経過敏症、筋痙攣、運動失調	運動失調、嗜眠、副甲状腺機能亢進
イオウ	食欲減退、体重減少	嗜眠、下痢、痙攣
鉄	貧血、削瘦、成長抑制	下痢、黄疸、脱水、昏睡
亜鉛	骨軟骨症、食欲減退、成長抑制、錯角化症	2次性銅欠乏症
銅	骨軟骨症、動脈破裂、白線裂	嘔吐、痙攣、起立不全
ヨウ素	死産、起立不全、甲状腺肥大	甲状腺肥大、脱毛
セレン	白筋症、嚥下困難、呼吸器疾患、心機能不全	多汗、疝痛、下痢、脱毛、変形蹄
フッ素	成長抑制、貧血	斑状歯、骨異常、跛行
マンガン	関節炎	2次性鉄欠乏症
コバルト	ビタミンB ₁₂ 欠乏、食欲不振、成長不良	食欲減退、体重減少
モリブデン	馬での報告なし	2次性銅欠乏症、骨変形