

4 馬にみられる病気

競走馬の骨組織と骨疾患 その4

軽種馬育成調教センター 調査役 吉原 豊彦

現在、軽種馬の骨に関する形態学的知識や生理学的機能および運動に伴う骨組織の変化などを中心に連載しています。今回は、運動負荷に伴い大きく変化する競走馬の骨組織とそれと関連の深い骨折について、どうして起き易いのか解説します。より速く走ることが求められる競走馬にとって、骨折が起き易いことは宿命的是ではありますが、日常の保健衛生管理で最小限に留めることは出来ると思います。少しでも競走馬の骨折の発症予防に役立てば幸いです。

競走馬の成長や運動による骨の変化と骨折

1. 競走馬の骨折の多発部位

人にみられる骨折は、無理な外力がかかったり、骨質そのものに欠陥があって骨の中央部で起こることが多いのですが、競走馬の骨折の多くは関節内骨折という関節面から起こるのが特徴といえます(図1)。競走馬がレースや調教中に発症する骨折は、これまでの骨折発生統計の成績を参考として、病理解剖所見やX線画像を比較してみると、同じような部位に起こっていることが分かります。以前にも少し触れましたが、これまでの統計から、競走馬の骨折は多い年度で約2,000頭近くみられたことがありました(図2)。中央競馬に所属する競走馬の骨折は、圧倒的に前肢に多く発生(約80%)しており、後肢の骨折(約20%)の約4倍起きています。また、骨折は腕節(手根関節)および球節(中手指節関節)を構成する骨で多く起きています。さらに細かくみてみると、骨折は、前肢の指骨のうち基節骨(第一指骨)、撓側および第三手根骨、撓骨(遠位)および第三中手骨(遠位)に多く発生しています(図3)。そこで、競走馬の骨折した部分を解剖時によく観察してみると、骨折の多くは運動負荷や加重により骨増生して骨硬化していると考えられる部分から発症していることがだんだんと明らかになってきました。そのような骨組織の中には、骨の関

節面に壊死巣が見られることもあり、このような部分から骨折を発症することもあるようです。

今回は、競走馬に多く発生する骨折の起き易い理由について説明したいと思います。

2. 骨の成長と運動による形態的变化

1) 第三中手骨の骨形態計測

競走馬は、成長するとともに体重が増加し、またレースで好成績をあげるため、より強い運動負荷が課せられます。したがって、力学的負荷に耐えられるように骨の内部構造は大きく変化します。この現象は生体にとって当然のことと思います。そこで軽種馬の馬体の成長とともに運動負荷に伴ってみられる骨の変化について、詳しく調べましたので紹介します。

軽種馬の第三中手骨(管骨)の遠位部について、幼駒の時代から育成期、競走期そして老齢期に至る過程で、それらの馬の骨組織を構成する骨梁構造にみられる変化を画像解析により数理形態学的に調べました。数理形態学というと分かりにくいと思いますので、少し解説しますと、形あるものを様々な手法を用いて数量化し、その特徴を明らかにすることです。そして、骨について数理形態学的に研究するこのような学問を骨形態計測(bone morphometry)と呼びます。

最初に、骨折の比較的多い第三中手骨（管骨）の内部を走行している**骨梁**に着目し、そこにみられる加齢や調教に伴う運動負荷による骨の変化について説明します。



図1 競走馬の第三中手骨(管骨)遠位の骨折
骨折は限局性骨硬化巣(矢印で囲んだ白色塊状になった部分)で起きている。

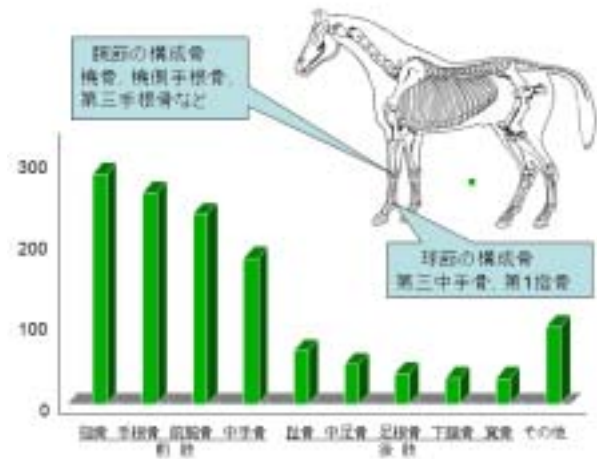


図3 骨折の多発部位

競走馬の骨折は、前肢の球節(中手指節関節)を構成する基節骨(第一指骨)、橈側および第三手根骨、橈骨(遠位)並びに第三中手骨(遠位)および腕節(手根関節)を構成する橈骨遠位、橈側手根骨、第三手根骨での発生が多い。

調査材料と方法

調査材料は、1日齢から23歳までの軽種馬37例で、それを大きく**幼駒群**、**育成馬群**、**競走馬群**および**老齢馬群**の4群に区分(表1)しました。

表1 第3中手骨の検査材料

区分 (年齢)	例数	種類		性別		
		サラ	アラ	雄	雌	騾
幼駒群 (1日齢~2カ月齢)	15	11	4	7	8	
育成馬群 (7カ月齢~2歳未満)	4	4		3	1	
競走馬群 (2歳以上~6歳未満)	15	15		9	6	
老齢馬群 (10~23歳)	3	3		1	1	1
計	37	33	4	20	16	1

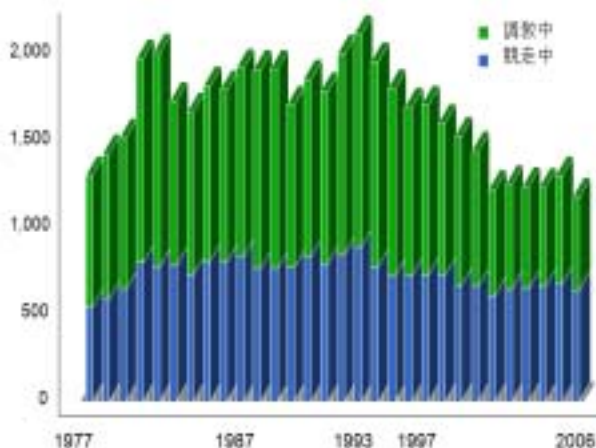


図2 中央競馬における過去30年間の骨折頭数の推移
1977年から2006年の30年間の中で、1993年の1996頭が最多であった。最近では1,100頭余りで重篤な骨折は減少している。

そして、運動器疾患以外の原因による材料を採取し、前肢球節を構成している第三中手骨遠位部を仰角60度の角度で前額断した骨片(5mm厚)を作製しました。それら骨片は10%中性緩衝ホルマリン液で固定したあと軟X線撮影し、その軟X線像について画像解析装置(Imarug, Tasper コルピユル社 東京)

を用いて骨形態計測して比較検討しました。なお、軟X線の照射条件の違いは、アルミニウム・ストップウエッジを用いて管電圧、管電流および照射時間を固定すると、アルミニウムの厚さと光学濃度は対数的に比例することが分かり、照射条件の違いによる光学濃度を補正しました。

軟X線像の観察結果

幼駒群では、非常に細く繊細な骨梁が、縦と横方向に無数に走行しているのが分かります。育成馬群では成長による体重の増加と、運動による骨への力学的負荷の影響がだんだんと増加するため、骨梁が力のかかる部分で太くなっていくことが分かります。競走馬群では、縦方向の骨梁が非常に太くなり、骨梁間が埋まって塊状になってきています。そして、老齢馬群では、運動負荷が減少するため、骨梁はだんだん細くなってきます(図4)。次に、軟X線像の骨梁についてさらに詳細に特徴をみるため、第三中手骨の外側滑車部の2値化(白か黒かの2つの値で表示)像について4群の変化を観察しました。すると幼駒群では細い骨梁が縦横に多数分布しているのが、育成馬群ではだんだんと縦方向の骨梁が目立つようになり、競走馬群では太くなった骨梁同士が密着して塊状になってきていました。しかし、運動負荷が非常に減少した老齢馬群では、不要な骨梁が消失してくるため骨髓腔が増して骨梁が細くなってきています(図5)。

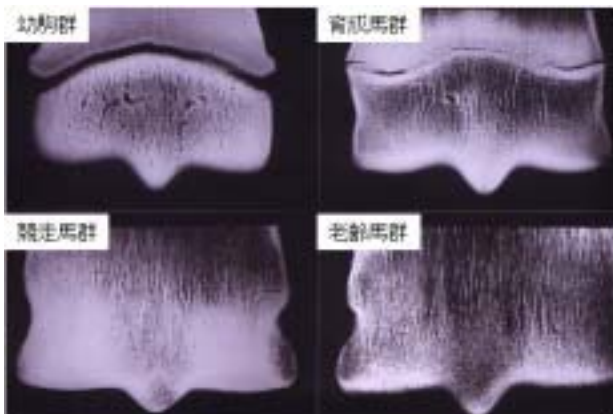


図4 第三中手骨遠位部の軟X線像
幼駒、育成馬、競走馬および老齢馬群の軟X線像の変化をみると、競走馬群では第三中手骨遠位の滑車部に骨増生した塊状の骨梁が観察される。

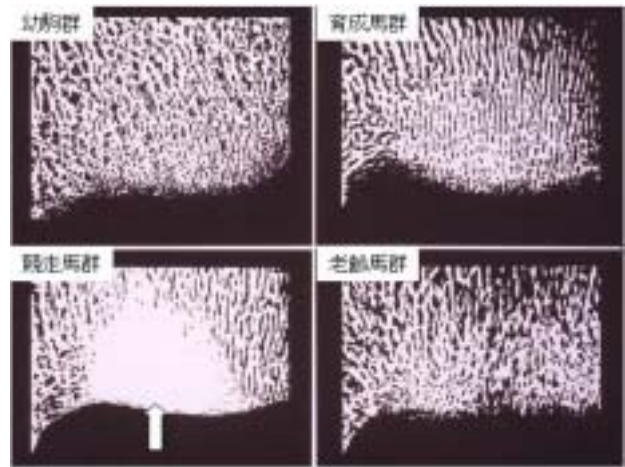


図5 各群の第三中手骨遠位の外側滑車部の軟X線像の2値化像
軟X線像の骨梁を画像解析により2値化した画像をみると、競走馬群では強い運動負荷により骨増生して骨梁が太く塊状(矢印)になっている。

軟X線像の擬似カラー像

幼駒群から老齢群に移り変わる過程で、4群の第三中手骨遠位部に大きな変化が観察されます。これらの軟X線像を画像解析により、擬似カラーで分かり易く表示すると、幼駒群から老齢群にいたる過程で、競走馬群において第三中手骨遠位部に限局性の光学濃度の低値部を認めました(図6)。すなわち、競走馬群では強い運動負荷により顕著に骨形成が行われ、骨梁が太く塊状になっていることが分かります。図6では白色や黄色い部分が骨増生している部分であり、この部分は骨形成によりカルシウムが沈着しているため、X線が透過しにくくなっています。

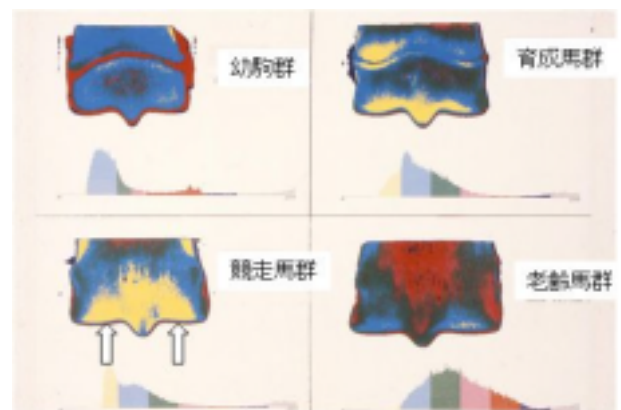


図6 第三中手骨遠位部の擬似カラー像
競走馬群の擬似カラーで黄色に表示された部分(矢印)が骨増生により骨硬化している部分を示す。

骨増生した部分について別の実験でその粘り強さ（粘弾性）について調べると、骨強度は増しているものの、粘り強さや弾力性に乏しくなっており、骨硬化していることがわかりました。すなわち、馬体は成長とともに運動強度が増加し、それに耐えられるように骨が変化した結果、粘り強く弾力性のある若馬の骨から、現役の競走馬の骨ではレースや激しい調教に耐えられる硬くて強い骨へとだんだんとその構造が変わってきているわけです。

2) 手根関節構成骨の骨形態計測

競走馬で骨折が多発する部位であることから、次に、軽種馬の手根関節を構成する骨組織の骨梁構造にみられる変化についても、同じように幼駒期から老齢期に至る過程を画像解析により数理形態学的に調べました。

調査材料と方法

材料は1日齢から23歳までの運動器疾患以外の理由で病理解剖された軽種馬22例について、中手骨例と同様に年齢群別に幼駒群、育成馬群、競走馬群および老齢馬群の4群に区分し調べました（表2）。

表2 手根関節構成骨の検査材料

区分 (年齢)	例数	種類		性別		
		サ	ア	雄	雌	騾
幼駒群 (1日齢~2カ月齢)	7	6	1	4	3	
育成馬群 (7カ月齢~23歳未満)	4	4		2	2	
競走馬群 (23歳以上~6歳未満)	8	8		4	4	
老齢馬群 (10歳以上)	3	3		1	1	2
計	22	21	1	11	11	2

材料は、前肢の手根関節を構成している橈骨遠位部、橈側手根骨、第三手根骨および第三中手骨近位部を矢状方向で鋸断した骨片を作製（5mm厚）しました。それらの骨片を軟X線撮影し、その軟X線像について第三中手

骨の材料と同様に画像解析装置を用いて骨形態計測して比較検討しました。なお、軟X線の照射条件の違いに対しては、第三中手骨と同様の方法で光学濃度を補正しました。

軟X線像の擬似カラー像

幼駒群、育成馬群、競走馬群および老齢馬群の軟X線像に対する擬似カラー像から、幼駒群から老齢群のうち、特に競走馬群において、橈骨遠位前部、橈側手根骨および第三手根骨の前側並びに第三中手骨近位前部に限局性の光学濃度の低値部を認めました。これは、第三中手骨遠位部と同様に、競走馬の手根関節構成骨においても体重の増加に加えて運動負荷による強い力学的ストレスが働いていることが分かります（図7）。

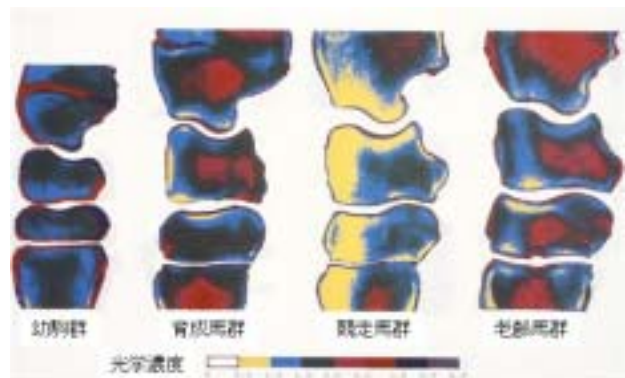


図7 手根関節構成骨の擬似カラー像
競走馬群では橈骨遠位前部、橈側手根骨前部、第三手根骨前部および第三中手骨近位前部に骨増生した黄白色部分が観察される。

軟X線像の2値化像の観察結果

競走馬で骨折の比較的多い第三手根骨について、幼駒群から老齢馬群にいたる軟X線像を比較しました。すると、幼駒群では微細な骨梁が縦横に無数に走行していることが分かります。それが、育成馬群では成長による体重の増加と運動による骨への力学的負荷の影響がだんだんと増加するため、力のかかる部分の垂直方向の骨梁が太くなってきています。競走馬群では縦方向の骨梁が非常に太くなり骨梁間が埋まって塊状になってきています。そして、老齢馬群では、力学的負荷の減少と

ともに骨梁はだんだん細くなってきます(図8)。

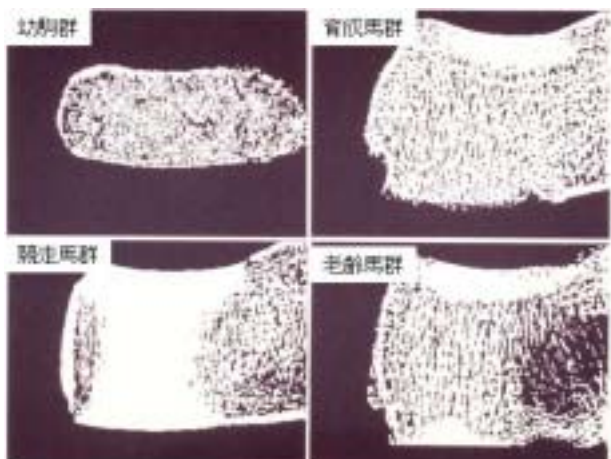


図8 各群の第三手根骨の軟X線像の2値化像
各群の軟X線像の2値化像のうち、競走馬群では強い運動負荷により骨増生して骨梁が太く塊状(矢印)になっている。

3. 競走馬の骨折発症メカニズム(仮説)

今回、軽種馬を幼駒群、育成馬群、競走馬群および老齢馬群に区分して、競走馬の骨折の多発部位である第三中手骨遠位部および手根関節を構成している骨の内部構造を詳しく調べました。その結果、競走馬群では、強い力学的負荷がかかる部位にはいずれも顕著な骨増生が認められ、骨梁が太くなっていました。これは前号で説明したWolffの法則と一致するものでした。すなわち、生まれたばかりの子馬の骨の内部構造は細く細かい骨梁が縦横に無数に走行していますが、成長とともに体重が増加し、さらに育成期になると徐々に運動量が増え、さらに運動強度が高まります。馬はそれに耐えるために筋骨が自然とたくましく発達します。その結果、骨組織の内部では盛んに骨増生が行われ、骨梁が太くなったり増えたりします。こうして骨は硬く丈夫な組織になり、競走馬としてレースや強い調教の運動にも耐えられるようになるわけです。一方、このように硬く丈夫になった骨は硬化し、硬く粘りけの少ない脆い性質に変化すると考えられます。そして、そのような部分では骨硬化が起きて、さらにレースや激しい調教を長期にわたり続けると骨組織が疲労

し骨折し易くなると考えられます。

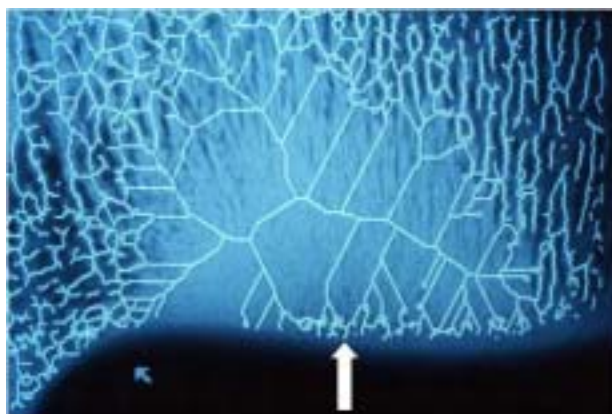


図9 第三中手骨遠位外側滑車部の骨折発生メカニズム(仮説)

限局した骨硬化部では力学的負荷が周囲に分散しにくく中央部に集中し易い。路面からの衝撃(矢印)は中央に集中して力が働いたため、骨硬化して粘性が低く硬く脆い部分で骨折し易いと考えられる。

偶発的な事故による骨折を除き、競走馬の多くにみられる骨折の発症した骨の部分には、骨硬化像を観察することができます。多くの競走馬に起こりやすい限局した骨硬化巣では、レースや強い調教による力学的負荷が、周囲に分散しにくく中央部に集中し易いと考えられます(図9,10)。

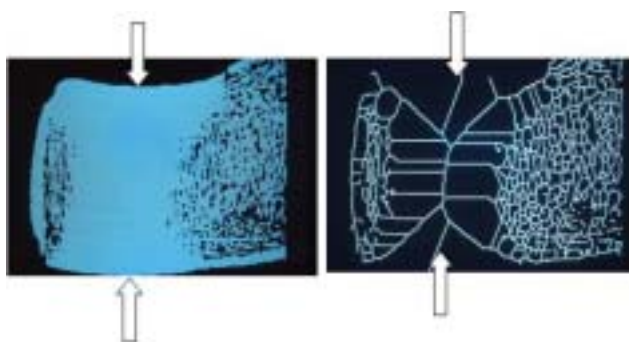


図10 第三手根骨の骨折発症メカニズム(仮説)

左図は第三手根骨の骨体前部の限局した骨硬化部
右図は左図の骨梁の2値化像をスケルトンという手法で画像処理したもので、力は骨硬化した部分に集中し、力が分散できないため縦方向に骨折し易いと考えられる。

もし、幼駒のように縦横に骨梁が分布していれば、運動していても力はあらゆる方向に分散するため、骨への負担は軽減されます。ところが、現役競走馬では、速く走行するこ

とにより路面から受ける衝撃は中央に集中して力が働くため、骨硬化して粘性が低く硬く脆い部分で骨折し易いと考えられるわけです(図11, 12)。

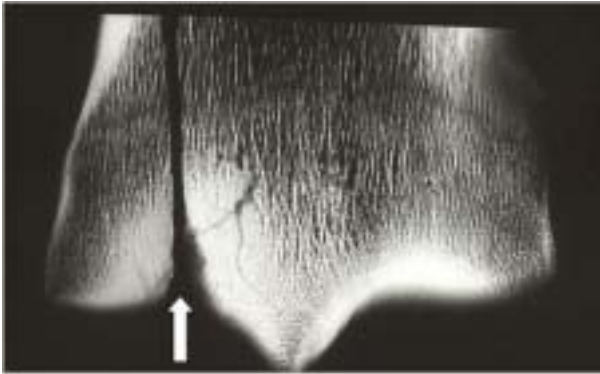


図11 第三中手骨遠位部骨折の軟X線像
骨折は骨増生して骨硬化した部分(矢印)で発生している。

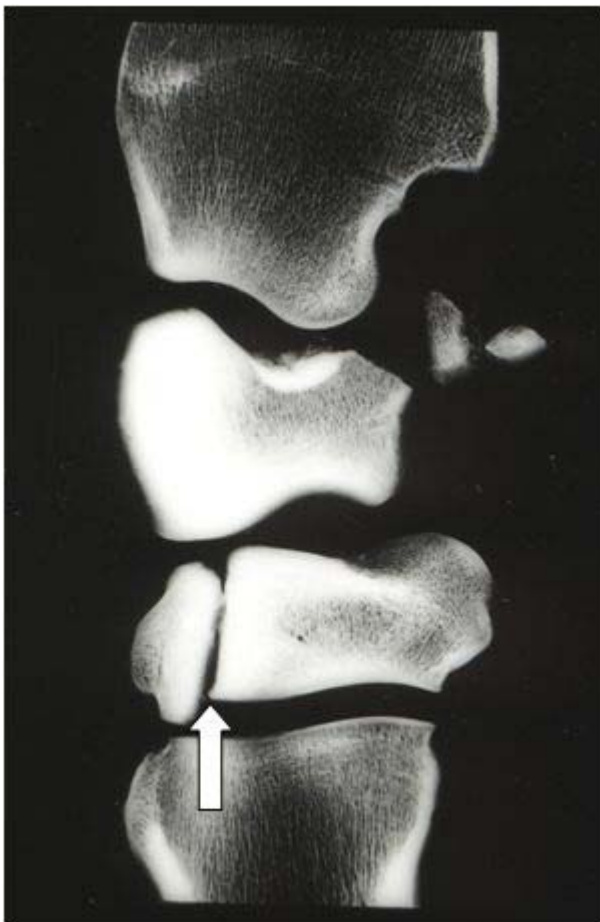


図12 第三手根骨骨折の軟X線像
骨折は骨増生して骨硬化した部分で縦方向に発生(矢印)している。

・競走馬の骨折を防止するために

競走馬の多くは、その骨組織や筋肉がまだ成長過程にある中で強い調教が行われたり、レースに出走しています。従って、骨や筋肉にかかる強い運動負荷に耐えられるようにこれらの運動器は変化して能力が高くなっていくわけです。その一方で、性別の違いや発育が早い遅いなど馬にも個体差があり、同じような強度や量の運動負荷にも耐えられない馬がでできます。

これからどんどん発育していく育成馬や若い競走馬に対して、短期間で強い運動負荷を課さないことです。以前説明しましたが、骨の内部では絶えず骨を壊しては造るという作業が約3ヶ月周期で行われています。これを骨のリモデリングといいますが、このようなペースを乱すようなことをすると、骨にも様々な障害が出てくると考えられます。

育成馬や競走馬を調教するとき、坂路馬場を使用することは走速度が遅くなるため四肢への負担が軽減されることから、骨硬化の進行防止になると考えられます。また、長期にわたりレースや強い調教が課された競走馬で骨硬化の進行が疑われる場合には、スイミングプールを活用すると心肺の呼吸循環機能を低下させることなく骨硬化を改善することができます。以前、総研で実施した骨塩量の測定実験で、競走馬の骨硬化した骨は、約3.5ヶ月の休養で改善されることが明らかにされています。

骨は遺伝のみならず、飼料の給与量、その栄養価、運動量など様々な影響を受けています。一度、骨に障害が起きると治るのに時間がかかります。日常管理している育成馬や若い競走馬の発育には十分に注意し、短期間での体重の増加や成長期であるにも係らず体重が減少しているなど様々な現象がみられたら早期発見が必要です。