

若雌豚の常歩時における蹄への荷重

高橋圭二・江森 格・園原邦治^{*1}・井口元夫^{*2}

Study on Measurement of Load in Feet of Gilt during Walking

Keiji TAKAHASHI, Tadasu EMORI, Kuniharu SONOHARA^{*1} and Motoo IGUCHI^{*2}

要 約

生後8ヵ月齢の大ヨークシャー種4頭を用い、常歩時における蹄への荷重を圧力測定フィルム（圧力測定範囲：0.2以上0.6MPa未満）の上を歩行させ測定した。

蹄の底面積（蹄底面積と蹄球面積の和）に占める加圧が認められた面積（加圧面積）の割合は、前肢・後肢ともに外側蹄のほうが内側蹄より大きく、外側蹄では底面積の88～92%、内側蹄では底面積の57～61%と、外側蹄と内側蹄で圧力のかかる面積に違いが認められた（ $P<0.01$ ）。

加圧値は、前肢・後肢いずれも、外側蹄と内側蹄でそれぞれ同様の分布傾向を示した。外側蹄では0.6MPa以上が全体の約35%を占め最も高い値を示したが、内側蹄では、0.2以上0.3MPa未満が全体の約40%と最も高く、また0.6MPa以上は、全体の約10%であった。

前肢・後肢の蹄にかかる加圧分布をみると、0.6MPa以上の最も強い圧力が認められたのは、前肢外側蹄では主に反軸側（趾間隙の反対側の蹄の外側にあたる部分）の蹄底先端から蹄球までであり、後肢外側蹄では蹄全体のものや蹄底部だけのものなどその傾向は一定ではなかった。内側蹄では前肢・後肢とも蹄底部先端に最も強い圧力が認められた。

以上から、常歩時において前肢・後肢いずれも外側蹄が内側蹄よりも加圧面積が大きく加圧値が高いことから、外側蹄と内側蹄では機能的に違いがあることが示唆された。前肢外側蹄と後肢外側蹄の蹄における加圧分布の違いは、前肢と後肢の骨格構造や歩行動作の生体力学的な影響があることが考えられた。

緒 言

前報（高橋ら 2016）では、ランドレース種の育成期における前肢、後肢の蹄の成長について、後肢内側蹄が他の蹄に比べ接地面である底面積が小さいことを報告した。また、後肢内側蹄だけ蹄の大きさが不揃いであることについては、骨格構成から体重の負荷がかかりにくいことによるものではないかと報告されている（Toussaint Raven 1990）が、実際の歩様においてどの程度の力が蹄にかかるのか力学的な面からの報告は少ない。また、蹄にかかる力学的な影響は、肢蹄の強健性と関連の深い蹄の損傷発生部位等にも係わることが推測されることから、本試験において基礎的な調査を行った。

材料および方法

供試豚は、生後8ヵ月齢の大ヨークシャー種雌4頭（平均体重 148.8 ± 6.6 kg）を用いた。底面積は、床を強化ガラス（厚さ10mm）にした保定用檻に豚を入れ（図1）、強化ガラスと足の接地面を下からデジタルカメラ（Nikon, coolpix 950）で撮影し、画像解析システム（旭精密（株）、HIM-1）により蹄底面積および蹄球面積を測定した。なお、底面積とは蹄底面積と蹄球面積の和とし、内外蹄比率は内側蹄の底面積を外側蹄の底面積で除した値とした（図2）。

蹄にかかる圧力の測定は、圧力測定フィルム（富士フィルム（株）、プレスケールLLLW、圧力測定範囲：0.2MPa以上0.6MPa未満、幅0.27m×長さ0.8m、 $1 \text{ MPa} = 10.2 \text{ kgf/cm}^2$ ）の上を常歩で4回歩行させ測定した。なお、測定のためにコンクリート床面の豚舎内に厚さ5mmのゴムマットを敷き、圧力測定フィルムを乗せ、豚がその上を歩行できるように、パイプ柵で幅0.3m、長さ3.6mの誘導路を作った（図3）。圧力測定フィルムの解析は、圧力画像解析装

平成28年8月31日受付

^{*1} 現 千葉県立農業大学校

^{*2} 現 NPO法人いきいき畜産ちばサポートセンター

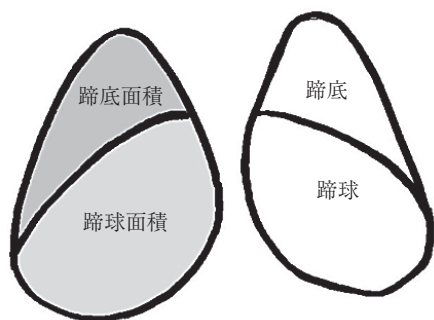
置（富士フィルム(株)、FPD-901E）を用いその加圧面積、加圧値、加圧分布を明らかにした。これによって測定される圧力の値は蹄が着地してから離地するまでの間の接地面に生ずる最大の圧力値である。なお、加圧面積を底面積で除した値を加圧面積割合とした。

今回の測定に利用した歩法は、常歩とした。これは、馬で言う最も緩慢な歩き方で、四肢は交互に対角の肢を動かし、右前肢→左後肢→左前肢→右後肢の順序で離地または着地する。歩行の工程では、体重を3肢または2肢が負重し、これを交互に繰り返して前進するので、四肢が全部地面を離れて、空中に浮遊することはない歩き方である（野村 1977）。

試験は、2002年6月～7月に行った。



図1 蹄の撮影方法



外側蹄（第4指趾） 内側蹄（第3指趾）

図2 蹄の測定部位

底面積=蹄底面積+蹄球面積
内外蹄比率=内側蹄の底面積/外側蹄の底面積×100



図3 測定のための誘導路

結果および考察

供試豚の前肢・後肢の底面積を、表1に示した。いずれも、高橋ら（2016）の報告のとおり、底面積は前肢外側蹄が最も大きく、次いで前肢内側蹄と後肢外側蹄がほぼ同じ大きさを示し、後肢内側蹄が最も小さかった。

前肢・後肢の内外蹄比率を表2に示した。内外蹄比率も高橋ら（2016）の報告のとおり、前肢が後肢より大きな値を示し、右・左ではその比率に差は認められなかった。

加圧面積割合を表3に示した。加圧面積割合は、前肢後肢ともに外側蹄のほうが内側蹄より大きく、外側蹄では底面積の88～92%、内側蹄では、底面積の57～61%であった。使用した圧力測定フィルムは、圧力測定範囲が0.2MPa以上と製品の中では、最も感度が高いものである。外側蹄は前肢・後肢ともに底面積の90%前後に圧を受けることが確認されたが、内側蹄では前肢・後肢とも底面積の60%前後であり、歩行時において内側蹄には外側蹄ほど大きな圧を受けていないことが確認された。このことが、外側蹄と内側蹄の大きさの発達に影響していると考えられる。ただし、前肢内側蹄は、後肢内側蹄より大きく発達することが確認されているが、歩行時では後肢内側蹄と同様の加圧面積しかなかったことから、佇立の状態では重心が体の中心より前方にあり、前肢が負重する割合が多いためと推察された。

表1 前肢、後肢の底面積 (cm²)

		内側蹄	外側蹄
前肢	右	11.2 ± 0.8	13.8 ± 1.5
	左	11.1 ± 1.9	13.3 ± 1.6
後肢	右	8.6 ± 1.1	11.3 ± 0.6
	左	9.0 ± 1.0	11.5 ± 1.0

平均値±標準偏差

表2 四肢の内外蹄比率 (%)

		前肢	後肢
右	80.3 ± 5.4	76.2 ± 7.4	
左	83.4 ± 6.6	78.0 ± 8.6	

平均値±標準偏差

内外蹄比率=内側蹄の底面積/外側蹄の底面積

表3 前肢、後肢の底面積に対する加圧面積の割合 (%)

		内側蹄	外側蹄
前肢	60.8 ± 12.9 ^B	92.2 ± 4.6 ^A	
後肢	56.8 ± 17.4 ^B	88.4 ± 6.2 ^A	

平均値±標準偏差

大文字異符号間 P<0.01

0.2~0.6MPaまでの加圧値を6段階に区分した分布状況を、図4に外側蹄、図5に内側蹄について示した。前肢・後肢いずれも、外側蹄と内側蹄で同様の分布傾向を示し、外側蹄では、0.6MPa以上が全体の約36%と最も高い値を示したのに対し、内側蹄では、0.3MPa以下が全体の45~50%と最も高く外側蹄に比べ低い値の割合が高かった。このように圧力値は外側蹄で高くその分布割合は外側蹄と内側蹄で傾向が異なった。本試験では経時的な解析はできないが、上田ら(1981)は競走馬で、佐藤(1995)は乳牛で経時的な歩行動作の力学的解析を行った結果、前肢および後肢において歩行動作時の荷重の鉛直分力は着地相で極大をもつ波形が認められると報告している。このことから、0.6MPa以上の割合が最も多い外側蹄は、床面に接地する時の圧力と考えられる。また、佐藤(1995)は左右分力(歩行方向に直角な水平分力)を測定し、乳牛では常に体の外に向かって作用していると報告している。今回の調査では、前述のとおり外側蹄に0.6MPa以上と強い圧力がかかり、内側蹄では0.2~0.3MPaといった弱い圧力の割合が最大で、0.6MPa以上の圧力が少ない。このことから同じ偶蹄類の豚でも牛と同様なことが考えられ、歩行時の床面に接地する時の圧力は、まず外側蹄に

かかっていることが推察された。

歩行時における前肢、後肢の加圧分布の解析例を図6に示した。0.6MPa以上の強い加圧部位は、前肢では外側蹄の蹄底先端から蹄球まで、主に反軸側に多く認められ、内側蹄では、蹄底部先端に認められた。後肢では、前肢と同様に外側蹄に強い加圧部位が多く認められるが、前肢のように定まった傾向はなく、個体によっては、蹄前方の蹄底部だけに認められるものもあった。後肢の内側蹄は、前肢と同様に蹄底部先端に強い圧力が認められた。これは、佐藤(1995)が、乳牛の歩行時の蹄にかかる鉛直分力の波形から、蹄と重心の移動について、前肢は体重の重心から離れた場所に接地した後に、重心が次第に近づいてくるのに対し、後肢はまず重心の近くに接地し、その後重心が次第に離れていくと報告している。今回の測定結果から、前肢では重心移動により蹄全体にその最大蹄圧部が認められるが、後肢では乳牛と同様に接地時の重心と、わずかな歩行速度の違いや進行方向の変動が影響して、蹄全体に最大加圧部を認めるものや蹄先端の蹄底部のみに強い圧力を認めるものなどの違いが生じたと推測できる。

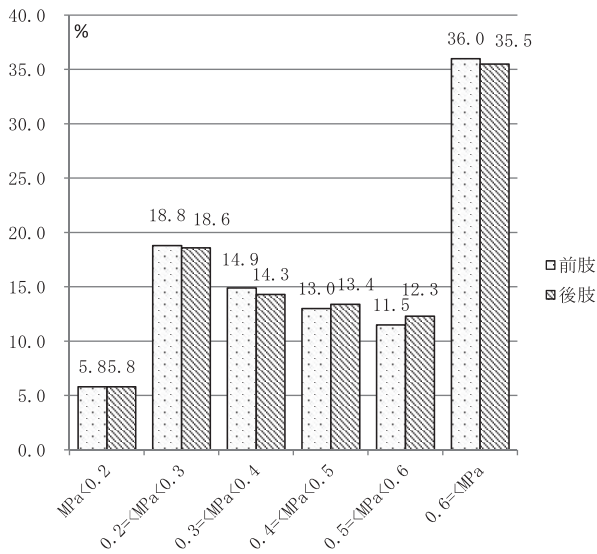


図4 前肢、後肢外側蹄の圧力分布割合

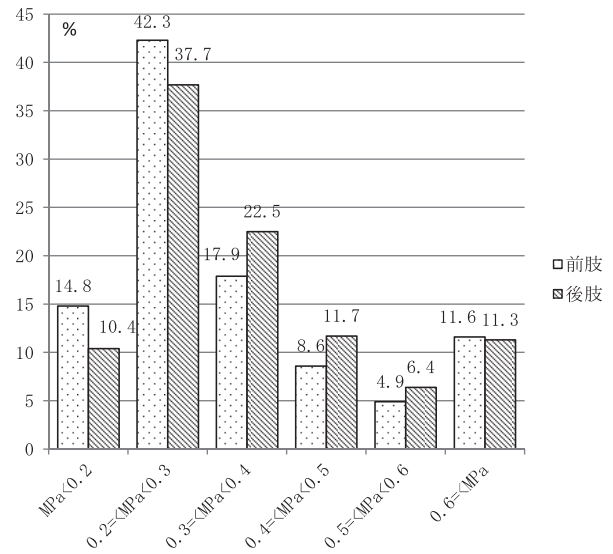
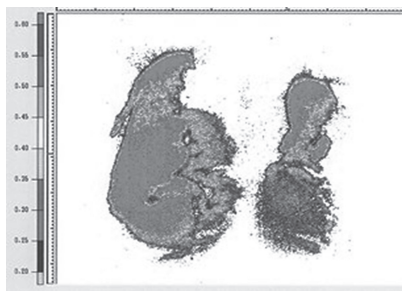
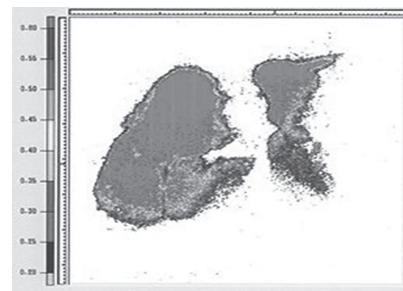


図5 前肢、後肢内側蹄の圧力分布割合



外側蹄 内側蹄
前肢



外側蹄 内側蹄
後肢

図6 蹄による加圧分布の測定例(左足)

以上のように、常歩時において前肢・後肢いずれも、外側蹄が内側蹄よりも加圧面積が大きく加圧値が高いことから、外側蹄と内側蹄では機能的に違いがあることが示唆された。さらに、前肢外側蹄と後肢外側蹄の蹄における加圧分布の違いは、前肢と後肢の骨格構造や歩行動作の生体力学的な影響があることが示唆された。なお、加圧値の高い部位は蹄の損傷を受けやすい部分にも相当すると考えられるので、今後、肢蹄の強健性の選抜や護蹄管理の面からも蹄の損傷についての調査がさらに必要である。

引用文献

- 野村晋一、1977、概説馬学、新日本教育図書:202
佐藤義和、1995、乳牛の行動動作の運動力学的分析による牛舎の床条件改善のための基礎的研究、北海道農試研報160:22-32
高橋圭二・大澤浩司・園原邦治・岡崎好子・井口元夫、2016、育成期における豚の前肢、後肢の蹄の成長、千葉畜七研報16:25-29
Toussaint Raven E、幡谷正明監訳、1990、牛のフットケアと削蹄、チクサン出版社:27-30
上田八尋・仁木陽子・吉田光平・益満宏行、1981、床反力による馬の運動解析－正常歩様馬の床反力－、日本中央競馬会競馬総研報18:28-41