

UNIVERSITEIT GENT

FACULTEIT DIERGENEESKUNDE

Academiejaar 2009-2010

MODERNE INZICHTEN OMTRENT HET HOEFMECHANISME

door

Evelien THEUNISSEN

Promotor : Dr. Maarten Oosterlinck
Medepromotor: Prof. Dr. Frederik Pille

Literatuurstudie in het kader
van de Masterproef

De auteur en de promotor geven de toelating deze literatuurstudie voor consultatie beschikbaar te stellen en delen hiervan te kopiëren voor persoonlijk gebruik. Elk ander gebruik valt onder de beperkingen van het auteursrecht, in het bijzonder met betrekking tot de verplichting de bron uitdrukkelijk te vermelden bij het aanhalen van gegevens uit deze studie. Het auteursrecht betreffende de gegevens vermeld in deze literatuurstudie berust bij de promotor. De auteur en de promotor zijn niet verantwoordelijk voor de behandelingen en eventuele doseringen die in deze studie geciteerd en beschreven zijn.

Voorwoord

Mijn eerste woord is een oprechte dankbetuiging aan alle mensen die mij hebben bijgestaan om deze literatuurstudie tot een goed einde te brengen.

Eerst en vooral wil ik mijn promotor, Dr. Maarten Oosterlinck, bedanken voor de tijd die hij heeft besteed aan het lezen en verbeteren van dit werk, voor zijn tips en uitleg en voor de taalkundige en inhoudelijke feedback van deze masterproef.

Ook mijn mede promotor, Prof. Dr. Frederick Pille, verdient een woord van dank voor zijn hulp.

Tot slot verdient mijn vader, Luc Theunissen, een dankwoordje voor het nalezen van deze literatuurstudie en voor zijn hulp bij de lay out .

Inhoudsopgave

Samenvatting	1
1. Inleiding	2
2. Literatuurstudie	3
2.1. De uitwendige structuur van de hoof	3
2.2. Opbouw van de hoofwand	3
2.3. Conformatie en balans van de hoof	5
2.4. De verschillende fasen tijdens de voortbeweging	6
2.4.1. De contactfase	6
2.4.2. De standfase	6
2.4.3. Het kantelen van de hoof	6
2.4.4. De zweeffase	7
2.5. Het hoefmechanisme	7
2.5.1. De druk- en de depressietheorie	7
2.5.2. De dynamische bloedvloeï hypothese	9
2.5.2.1. De rol van het hoefkraakbeen in het hoefmechanisme	10
2.5.2.2. Werking van de dynamische bloedvloeï hypothese	11
2.6. Hoefbeslag	12
2.7. Bespreking	13
3. Literatuurlijst	14

Samenvatting

Bij het plaatsen van de hoef op de grond, zal de hoef subtiele vormveranderingen ondergaan. Deze zijn niet met het blote oog zichtbaar, maar hebben wel een belangrijke rol. Tijdens het neerkomen van de hoef gaan er verschillende krachten op inwerken. Deze krachten moeten op een of andere manier worden opgevangen. Jarenlang werden er twee theorieën aangenomen die de vormveranderingen verklaarden: de druktheorie en de depressietheorie. Deze verklaarden echter niet hoe de ontstane energie over de voet werd verdeeld en er werden steeds meer hiaten in de theorieën gevonden (Colles, 1989). In 1977 werd een studie gehouden met 9 paarden, waarbij men drukmeters in de hoefkussens aanbracht. De druk in de hoefkussens was tijdens de contactfase niet positief zoals iedereen verwacht had, maar negatief (Dyhre-Poulsen et al., 1994). Dit was niet te verklaren met de huidige theorieën. Eind jaren negentig schoof Bowker een nieuwe hypothese naar voor: de dynamische bloedvloeihypothese. Deze is gebaseerd op de basiswetten van de hydraulica en zegt dat bewegende vloeistoffen de energie verdelen over een oppervlakte. Bowker zegt dat het bloed in de hoeven van paarden niet enkel dient voor de aanvoer van voedingsstoffen, maar dat het bloed ook de overtollige energie wegwerkt die ontstaat als de voet de grond raakt (William et al., 2002). Met deze nieuwe hypothese kon worden verklaard waarom de druk in het hoefkussen negatief was tijdens de contactfase (William et al., 2002).

1. Inleiding

Als de hoef contact maakt met de grond is de hoef onderhevig aan de inwerking van verschillende krachten en ontstaan vormveranderingen. De uitwendige structuren van de hoef zijn zo opgebouwd dat ze de zachtere inwendige structuren van de voet beschermen tegen de krachten die ontstaan bij het neerkomen van de hoef op de grond (Budras et al., 2001). De vormveranderingen die de voet ondergaat tijdens de contactfase zijn het gevolg van een uitgebreid hoefmechanisme dat ervoor zorgt dat de impactenergie verdeeld wordt over de hele hoef en dat er geen structuren overbelast worden (Parks, 2003).

Jarenlang stond de rol van de straal centraal in het hoefmechanisme. Men ging ervan uit dat de straal werd samengedrukt tijdens het contact met de grond, en dat de straal op zijn beurt het hoefkussen samendrukte. Het hoefkussen zorgde dan voor de uitwaartse beweging van het hoefkraakbeen en de hielen. Verschillende studies werden gehouden om dit te bewijzen, maar steeds kwamen er tegenstrijdigheden boven. In 1998 kwam Bowker met een nieuwe verklaring voor het hoefmechanisme naar buiten: de hemodynamische bloedvloeihypothese. Deze verklaring wordt nu algemeen aangenomen (Bowker, 1998).

2. Literatuurstudie

2.1. De uitwendige structuur van de hoef

De hoef van het paard, in enge zin, is niets meer dan sterk gedifferentieerd integument dat het hoefbeen en de wekere weefsels van de teen bedekt en beschermt (Budras et al., 2001).

Als we de hoef bekijken onderscheiden we uitwendig de kroonrand, de zoom, de hoefwand, de draagrand en de zoolvlakte (Budras et al., 2001). De kroonrand vormt de overgang van de huid naar de hoef. De hoefwand of de hoornwand omsluit de voorkant en de zijwanden van de hoef en wordt ingedeeld in 4 delen: de teen, de mam, het kwartier en de hiel (Van Nassau, 2004). De draagrand is de distale rand van de hoefwand dat op de grond steunt. De zoolvlakte is de ondervlakte van de hoef en bestaat uit drie delen: de zool, de straal en de steunsels (Van Nassau, 2004). De zool vormt de ondervlakte van de hoef en vult de ruimte in tussen de hoefwand en de straal. De driehoekige straal past in de zool en vult de opening op tussen de twee hielen. De steunsels zijn de verderzetting van de hoornwand en liggen zijdelings van de straal (Budras et al., 2001).

2.2. Opbouw van de hoefwand

De paardenvoet bestaat uit verschillende componenten die allemaal met elkaar verbonden zijn en dus één functioneel geheel vormen. De hoef is opgebouwd uit de epidermis, de dermis en de hypodermis. Op sommige plaatsen is de hypodermis sterk verdikt tot elastisch hoefkussen, op andere plaatsen is de hypodermis heel dun. Het eigenlijke hoefkapsel (of de hoefwand) wordt gevormd door het stratum corneum van de epidermis (Budras et al., 2001).

Het hoefkapsel vormt de uitwendige beschermingslaag dat de zachtere weefsels en benige structuren van de voet beschermt. Door de onderlinge verbinding van de hoefstructuren met elkaar en met het lichaam worden de krachten die ontstaan bij het neerkomen van de hoef op de grond verspreid over de volledige voet, waardoor een overbelasting op één component vermeden wordt (Redden, 2003).

Centraal in deze functie staat de hoefwand. De wand is halfrigide en eerder vervormbaar, waardoor de wand de mogelijkheid heeft om te buigen en zo de schok bij het neerkomen op te vangen zonder daarbij beschadigd te worden. De stevigheid en de flexibiliteit van de wand is te wijten aan een gelaagde architectuur (Redden, 2003).

De epidermis bestaat uit een stratum basale, een stratum spinosum en een stratum corneum (Stump, 1967). Het hoefkapsel (hoefwand of hoornwand) wordt gevormd door het stratum corneum (Parks, 2003). Het hoefkapsel wordt gevormd vanuit de zoomhoorn, de hoorn van het kroonsegment en de hoorn van het wandsegment (Pollitt, 1995). De zoomhoorn (het stratum externum of het perioplum): vormt een ringvormige verhevenheid om de kroonrand en is slechts enkele mm's dik. Proximaal bevat de zoomhoorn een smalle inwendige zoomgroeve met putjes, waarin de papillen van de zoomlederhuid passen. Naar achter loopt de zoomhoorn over in de hoorn van de hoefballen en de straal (Pollitt, 1995). De hoorn van het kroonsegment is dik en stevig en vormt de steunlaag van de wand. Proximaal is de steunlaag uitgehold tot een kroongroeve met putjes waarin de lamellen van de kroonlederhuid passen. De hoorn van het kroonsegment is uitwendig altijd zichtbaar gezien de beperkte uitbreiding van het perioplum. De hoorn van de steunlaag groeit ongeveer 1 cm per maand (Pollitt, 1995). De hoorn van het wandsegment vormt de inwendige laag en wordt ook lamellenlaag genoemd, omdat zij bestaat uit een groot aantal primaire en secundaire hoornlamellen. Deze talrijke hoornlamellen zorgen voor een intens contact tussen de wandhoorn en de wandlederhuid (Pollitt, 1995).

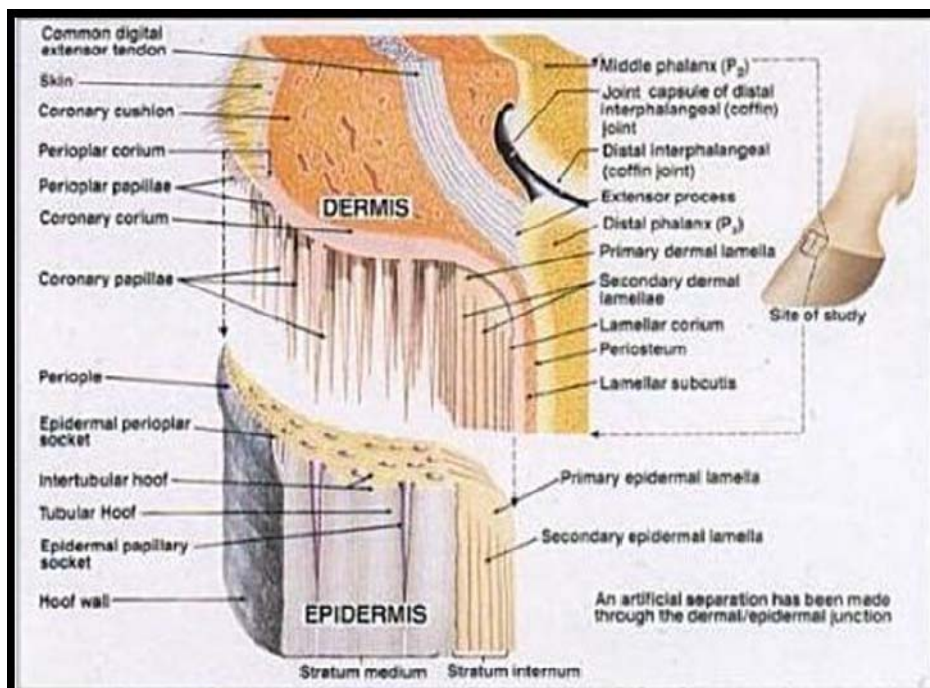


Fig. 1: Voorstelling van de kroonrand van de hoef. De scheiding tussen de dermis en de epidermis toont aan hoe de dermale papillen in de epidermale putjes passen en zo een stevige verbinding vormen (Pollitt, 1995).

In het stratum externum is er veel tussenhoorn aanwezig tussen de hoornbuisjes, dit verleent de hoef de nodige rigiditeit en stevigheid, in het stratum internum is er weinig tussenhoorn aanwezig tussen de hoornbuisjes en op deze plaats is de hoef het meest vervormbaar en het minst weerbaar voor vervormingen. Het verschil in dichtheid van de hoornbuisjes en de vervormbaarheid tussen de verschillende lagen van de hoefwand zorgt voor een efficiënte energietransfer van de rigide buitenlaag en de meer vervormbare binnenlaag zonder daarbij de hoefwand te beschadigen (Budras et al., 2001; Redden, 2003; Parks, 2003).

De structuren van de epidermis en zijn relatie met de dermis zijn sterk gedifferentieerd. In het stratum externum van de hoornlaag (of het perioplum), in de kroon en in de zool is het oppervlakte van de dermis bedekt met papillen. Deze papillen passen in corresponderende holtes van de epidermis. De dermis bestaat uit longitudinale plooien, dit zijn primaire dermale lamellen, deze zijn op hun beurt onderverdeeld in plooien, dit zijn de secundaire dermale lamellen (Parks, 2003).

De hoornlamellen zorgen voor de verbinding tussen het hoefbeen en de hoefwand en vangen de krachten op die ontstaan bij het neerkomen van de voet op de grond. Dit vormt een flexibele verbinding tussen twee relatief vaste structuren. Bij een gezonde voet zal de verbinding in staat zijn om te weerstaan aan grote krachten die inwerken op de hoef bij hoge snelheden over verschillende types van ondergrond (Redden, 2003).

De conditie van het hoefkapsel kan worden beïnvloed door abnormaliteiten in de ongevoelige buitenwand of in de gevoelige onderliggende weefsels of beiden. Als één onderdeel van de hoef echter verzwakt wordt door een bepaalde reden (genetisch, overbelasting, trauma, milieu-invloeden, ziekte, ..) zal dit een weerslag hebben op de volledige voet. Een kettingreactie van beschadiging, gestoord groei en vervorming van het hoefkapsel zijn dan mogelijk (Redden, 2003).

Vervormingen van de hoef leiden tot uiteenlopende klinische afwijkingen zoals retractie van de diepe buigpees (blokvoet), klemhoef (sheared heels), Bij de evaluatie van een vervormde hoef, is het belangrijk om in het achterhoofd te houden dat een afwijking aan één component van de hoef altijd een invloed uitoefent op andere componenten en op de wekere delen in de voet want de hoef en het hoefmechanisme vormen een geheel (Redden, 2003).

2.3. Conformatie en balans van de hoef

Wanneer men lateraal naar de hoef kijkt, dan ziet men dat de hoek die de dorsale hoefwand maakt met de grond meestal 50°- 54° betreft. De hoek die de hoefwand ter hoogte van de hielen met de grond maakt is meestal iets kleiner (Balch et al., 1991). De lengte van de dorsale hoefwand is variabel en gerelateerd met het gewicht van het paard (Balch et al., 1991). De lengte van de hoefwand ter hoogte van de hielen bedraagt ongeveer een derde van de lengte van de dorsale hoefwand (Balch et al., 1991).

Er zijn twee richtlijnen waarmee men rekening moet houden bij het beoordelen van de conformatie en de balans van de hoef. De eerste richtlijn heeft betrekking op de hoef – koot as. Deze as beschrijft de relatie tussen de hoek gemaakt door de dorsale hoefwand en het dorsaal aspect van de koot. In ideale omstandigheden zou deze as een hoek van 180° moeten maken en dus een rechte lijn moeten vormen.

De tweede richtlijn heeft betrekking op de bissectrice van de pijp, deze bissectrice zou de grond moeten raken ter hoogte van het meest palmaire deel van het grondoppervlakte van de hoef. Deze twee richtlijnen, vormen samen met de hoek die de dorsale hoefwand maakt met de grond en het grondoppervlakte een driehoek. Deze driehoek geeft de proportie weer van de hoef ten opzichte van het distaal deel van het been (Parks, 2003).

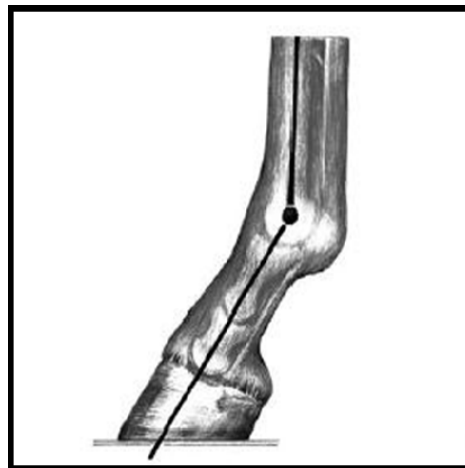


Fig.2: de hoef- koot as moet in ideale omstandigheden een rechte lijn vormen en de bissectrice van de pijp moet de grond raken thv het meest palmaire deel van het grondoppervlakte van de hoef (O'Grady and Poupard, 2003).

Wanneer men van dorsaal naar de hoef kijkt, dan zou de hoef ongeveer symmetrisch moeten zijn. Een ingebeelde lijn getrokken tussen twee vergelijkbare punten thv de kroonrand zou parallel moeten lopen met het grondoppervlakte (Turner; 2003). De mediale hoefwand zou dezelfde hoogte moeten hebben als de laterale hoefwand, maar vaak ziet men dat de mediale hoefwand iets korter is dan de laterale. De hoef moet ook symmetrisch zijn tov de rest van het distaal deel van het been. Een bissectrice getrokken door de pijp, moet eveneens de bissectrice zijn van de koot en van de hoef. Deze bissectrice moet loodrecht staan op het grondoppervlakte (Turner, 2003).

Wanneer men van distaal naar de hoef kijkt, dan moet het grondoppervlakte van de hoef ongeveer even breed als lang moeten zijn. De hoef moet symmetrisch zijn ten opzichte van de lengte as van de straal. De laterale zijde van de zool heeft meestal een iets groter oppervlakte dan het mediaal gedeelte. De breedte van de straal moet ongeveer 50% - 66% zijn van de lengte van de straal (Kane, 1998). Een ingebeelde lijn getrokken van het meest palmaire punt waar de hiel de grond raakt naar de hoefballen aan de kroonrand moet loodrecht lopen met de lengte as van de straal (Kane, 1998).

2.4. De verschillende fasen tijdens de voortbeweging

Tijdens het bewegen onderscheidt men verschillende fasen: de initiële contactfase, de standfase, het kantelen van de hoof en de zweeffase. De voet beweegt in een sagittaal vlak parallel met de lengteas van het paard (Parks et al., 2003).

2.4.1. De contactfase

Het initieel contact wordt gewoonlijk gemaakt met de hielen, alhoewel sommige paarden met een platte voet landen (Van heel et al., 2004). De neiging om met een platte voet te landen zal stijgen bij een hogere snelheid. Initieel contact met de teen is zeldzaam (Parks, 2003). Het tijdsinterval tussen het initieel contact en het plaatsen van de volledige voet op de grond is kort (1%-2% van de duur van de pas). Het inwerkingspunt van de normaalkracht ligt ter hoogte van de hielen bij het initieel contact. Als de volledige hoof op de grond wordt geplaatst (door sommige auteurs aangeduid als de impactfase) wordt de inwerkende normaalkracht gereduceerd ter hoogte van het hoefbeen doordat de zachte onderliggende lagen van het hoefbeen, de gewrichten en de veneuze plexus ter hoogte van de hoof de schok absorberen (Parks, 2003). De verticale snelheidscomponent en versnellingscomponent zijn in de voorbenen groter dan in de achterbenen, welke een verklaring vormt waarom er meer trauma's in de voorvoeten voorkomen (Back et al., 1995).

2.4.2. De standfase

Deze fase begint aan het einde van de contactfase tot het begin van het kantelen van de voet. Tijdens deze fase wordt het been progressief belast. Het aangrijpingspunt van de normaalkracht ligt in het centrum van de voet. Tijdens de eerste helft van de steunfase is de craniocaudale krachtcomponent naar caudaal gericht en gaat hierdoor het been afremmen. Tijdens de tweede helft van de steunfase is deze component naar craniaal gericht en wordt het been naar voor gedreven. In het midden van de steunfase bereikt het lidmaat een verticale positie. Als de verticale kracht zijn maximum bereikt, zal het metacarpophalangeaal gewricht (of het kogelgewricht) doorzakken, het distaal interphalangeaal gewricht (of het hoefgewricht) buigen en de spanning in de diepe en oppervlakkige buiger een piek bereiken omdat deze de krachten zullen absorberen. Het hoefbeen zakt dieper in de hoof, de palmaire/plantaire uitsteeksels van de hoof bewegen uit elkaar, de zool vlakt af en de hielen zetten uit (Parks, 2003; Merkens et al., 1986; Merkens et al., 1993; Barrey, 1990). Op een harde ondergrond glijdt de hoof initieel een beetje vooraleer vlak te blijven staan. Op een vervormbare ondergrond, zullen de hielen initieel in de ondergrond zakken, maar de zool van de voet roteert tijdens de steunfase (Parks, 2003).

2.4.3. Het kantelen van de hoof

Deze fase begint wanneer de hielen van de grond loskomen en eindigt wanneer de teen van de grond komt. Eenmaal dat de hielen van de grond loskomen is het aangrijpingspunt van de normaalkracht naar de teen gericht. Het begin van het kantelen van de hoof is geassocieerd met maximale strekking van de diepe buiger en met gestegen spanning in de dorsale hoefwand. De hoefwand gaat afplatten waardoor de hielen gaan samentrekken. Het kogelgewricht wordt gebogen (Jansen et al., 1993; Parks, 2003).

2.4.4. De zweeffase

Deze fase begint wanneer de teen van de grond loskomt en eindigt wanneer de hiel terug contact maakt met de grond. Onmiddellijk na het kantelen van de hoof ondergaat het kogelgewricht snelle flexie, dit gebeurt passief door de vrijgekomen energie die opgeslagen zat in de buigpezen. Het hoofgewricht buigt simultaan door (Parks, 2003).

2.5. Het hoofmechanisme

Onder het hoofmechanisme verstaat men de vormveranderingen die de hoof ondergaat als hij wordt neergezet en opgetild. Halverwege de steunfase is de verticale kracht op de hoof het grootst en op dit moment vinden de volgende vormveranderingen plaats: (1) de zool plat af en de steunsels worden platter, (2) de straal wordt naar beneden gedrukt en de hielen zinken verder in de hoof, (3) het hoofbeen, met de daaraan vergroeide hoornwand wordt naar beneden gedrukt en (4) de hoek van de wand met de bodem wordt door bovengenoemde veranderingen kleiner en de hoof wordt wijder met een laterale expansie van de kwartieren als gevolg (Van Nassau, 2004; Colles, 1989).

2.5.1. De druk- en de depressietheorie

Contact van de straal met de grond is variabel, en de rol van de straal in het dragen van het gewicht is onzeker (Bowker, 1998).

In 1891 concludeerde Lungwitz dat er 4 bewegingen konden worden onderscheiden als de hoof maximale deformatie onderging. Deze waren de volgende: (1) Laterale expansie van de kwartieren aan de kroonrand en aan de draagrand, (2) vernauwing van de voorste helft van de voet aan de kroonrand, (3) gedaalde hoogte van de voet met het zinken van de hielen en (4) afplatten van de zolen (Colles, 1989).

Later bevestigden Akerblom (1930), Knezevic (1962) en Zoerb en Leach (1978) deze deformaties. Al deze auteurs bevestigden dat tijdens het dragen van gewicht de hoof deformaties onderging (Colles, 1989). Lungwitz suggereerde dat als de voet een maximum aan gewicht draagt, de hoofkussens bijeen worden gedrukt, welke een zijwaartse uitzetting veroorzaken ter hoogte van de kroonrand en het hoofkraakbeen. Op hetzelfde moment oefent de grond een opwaartse druk uit op de straal, waardoor de straal gaat uitzetten, daardoor worden de steunsels uit elkaar gedrukt met als gevolg dat de hielen uit elkaar bewegen (Colles, 1989).

Hij suggereerde ook dat bij het ontbreken van deze normaalkracht op de straal, de uitzetting van de hielen beperkt bleef tot een minimum en dat in zijn experiment de voeten zonder straaldruk, een steile hiel hadden. Lungwitz ging er vanuit dat de mate waarop er druk werd uitgeoefend door de grond op de straal, verantwoordelijk was voor de vorm van de hoof. Later zei Holmes (1949) dat contractie van de voet bijna onmogelijk was als de straal onderhevig was aan druk (Colles, 1989).

Sindsdien werden er algemeen 2 theoriën aangenomen: de druktheorie en de depressietheorie die de vormveranderingen van de hoof verklaarden tijdens de contactfase (William et al., 2002). In de druktheorie wordt gezegd dat als de voet de grond raakt tijdens de contactfase, het hoofkussen door de zool en de straal wordt samengedrukt. Door de druktoename in het hoofkussen worden de hoofkraakbeendenderen naar buiten geduwd. Het hoofkussen gaat tegelijk de schok opvangen door de energie te absorberen (William et al., 2002; Bowker, 1998). In de depressietheorie stelt men dat de koot naar beneden beweegt tijdens de contactfase en dat dit zorgt voor het samendrukken van het hoofkussen (William et al., 2002). Beide theorieën hebben als gevolg dat het hoofkraakbeen naar buiten beweegt, en dat de hoofkussens de energie van de impact absorberen (william et al.,

1997). Beide theorieën stellen ook dat het bloed uit de hoeven wordt gepompt tijdens de contactfase. (William et al., 2002).

Elke theorie heeft zijn eigen verklaring voor de abaxiale beweging van het hoefkraakbeen en voor het naar beneden bewegen van het kogelgewricht wanneer de voet contact maakt met de grond. Maar het eigenlijke onderliggende mechanisme dat verklaart hoe de energie over de voet wordt verdeeld blijft onzeker. Beide theorieën gaan ervan uit dat het hoefkussen de ontstane energie absorbeert vooraleer de hoefkraakbeenderen naar buiten worden gedrukt (Bowker, 1998).

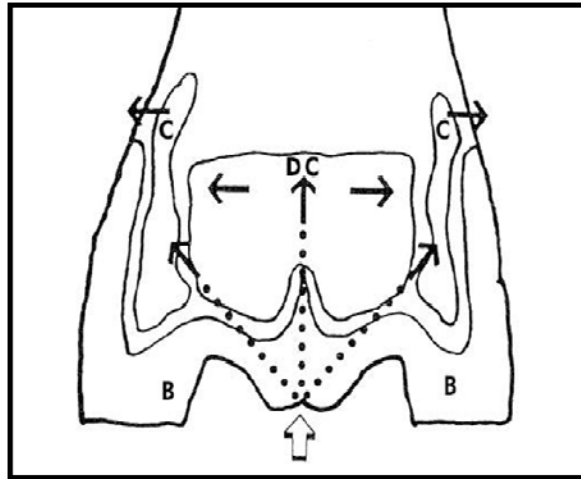


Fig. 3: voorstelling van de rol van de straal in de traditionele theorieën. Door druk op de straal wordt het hoefkussen (DC) samengedrukt en deze duwt op zijn beurt de hoefkraakbeenderen (C) naar buiten (Bowker, 1998).

In 1977 werd er door Emery, Miller en Van Hoosen aan deze theorieën getwijfeld. Ze deden een studie met vijf paarden en vier pony's om het effect van drukverandering op de straal op het uitzetten van de hielen te beoordelen. Dit deden ze met behulp van 4 manometers aan de hoeven vast te maken en zo bij elke pas van de dravende paarden de druk te meten. Deze studie toonde echter aan dat druk op de straal gepaard gaat met zowel hieluitzetting als met contractie als met het niet bewegen van de hielen (Parks, 2003). De 9 geteste dieren hadden een normale straaldruk. Onder een normale straaldruk verstaat men een hoef waarvan de straal tijdens stilstand de grond niet raakt, maar waar de straal licht contact maakt met de grond tijdens het draven (Colles, 1989). In de onderzochte dieren leidde deze normale straaldruk tot het uitzetten van de hielen. Verandering van de straaldruk zorgde echter voor tegenstrijdige resultaten, zowel bij daling van de druk als bij stijging van de druk (Colles, 1989). De aangenomen theorie zei echter dat een gestegen druk op de straal moest leiden tot een uitzetting van de hielen, en een gedaalde druk moest leiden tot een gedaalde uitzetting van de hielen of contractie van de voet (Parks, 2003). Dit zag men bij 4 van de 9 paarden. Bij de andere 5 dieren zag men tegenstrijdige resultaten. Dit suggereerde dat straaldruk niet de enige factor is dat een rol speelt bij de uitzetting van de hielen (Colles, 1989).

Voor deze tegenstrijdige resultaten had men enkele verklaringen. Zo is de anatomische bouw van de hoefwand een van de factoren die bijdraagt bij het uitzetten van de hielen tijdens de steunfase. Kleine verschillen in de hoefvorm kunnen dus een verschillende mate van uitzetting van de hielen veroorzaken. Een tweede verklaring werd gevonden door Lungwitz in 1891 toen hij suggereerde dat het kroonbeen drukt op het kussen van de hiel, en daardoor de hiel tussen de falanx en de straal duwt en zo zorgt voor een uitwaartse druk van het hoefkussen naar de hoefwanden. Een derde verklaring was dat de steunsels de hielen ondersteunen. Overmatige druk op de straal kan ervoor zorgen dat de steunsels in en uitwaarts bewegen, en deze beweging wordt overgemaakt via de zool naar de hielen van de hoef (Colles, 1989).

Tenslotte moet de factor die de uitzetting van de hielen beperkt, het soort ondergrond, ook worden meegerekend. De hielen kunnen enkel uitzetten als de uitzetting al plaatsgevonden heeft vooraleer de hoof gewicht gaat dragen of als de hoorn langs de grond of langs het ijzer kan glijden tijdens de contactfase (Colles, 1989). Daarom moet men rekening houden met de wrijving die optreedt als de hielen uitzetten aan het grondoppervlakte (Colles, 1989). Uit de resultaten van de proef kan men concluderen dat uitzetting van de hielen niet enkel gecontroleerd wordt door de straaldruk, maar dat straaldruk wel een van de belangrijkste factoren is (Colles, 1989).

In 1994 werd een studie uitgevoerd om de drukverschillen buiten en binnen de hoofwand te meten. Zo kon men de schokdempende werking van de hoof onderzoeken tijdens de contactfase. Men deed dit bij paarden die in vrijheid draafden op een asfaltweg. Er werd een drukmeter in de hoofkussens aangebracht en aan de teen werd een versnellingsmeter aangebracht (Parks, 2003; Dyhre-Poulsen et al., 1994). De hoof gaat schokbrekend werken door de vibraties te dempen die doorheen de structuren van de hoof gaan. Dragen van hoefijzers doet de demping dalen en doet de gemiddelde frequentie van de kracht en de maximale amplitude van de vibraties doorheen de hoof stijgen. De druk doorheen de hoofkussens van het voorbeen werd gemeten. Het hoofkussen is gemaakt van zacht, elastisch weefsel en gedraagt zich als een veer. Voor elke actie verwacht men dan ook reactie van dezelfde kracht, dit was echter niet het geval (William et al., 2002; Colles, 1989). Als de hoof zich in de lucht bevond was de druk in het hoofkussen nul. Maar wanneer de hoof de grond raakte, zag men in plaats van een positieve druk in het hoofkussen, een negatieve druk (William et al., 2002; Colles 1989). Deze vaststelling kan niet worden verklaard door de twee theorieën die zeggen dat het hoofkussen de energie absorbeert en de hoofkraakbeenderen vervolgens abaxiaal duwt (Bowker, 1998). De druk daalde tijdens de standfase, en er werd expansie van de hoof gezien. De expansie van de hoof werd dus niet veroorzaakt door druk op de straal of op de zool, want dan zou de druk in de hoofkussens gestegen zijn. De theorie van het hoofmechanisme moest daarom worden herzien (Dyhre-Poulsen et al., 1994)

2.5.2. De dynamische bloedvloeï hypothese

Een nieuwe theorie werd door Bowker naar voor geschoven gebaseerd op de basiswetten van de hydraulica. Deze zegt dat bewegende vloeistoffen de beste manier zijn om opgeslagen energie te verdelen over een oppervlakte en wordt daarom de "dynamische bloedstroom theorie" genoemd. Bowker zegt dat het bloed in de hoeven van paarden niet enkel dient om de hoeven van voedingsstoffen te voorzien, maar dat het bloed ook de overtollige energie wegwerkt die ontstaat als de voet de grond raakt (William et al., 2002).

Bowker's hypothese verklaart de negatieve druk in het hoofkussen tijdens de contactfase door de uitwaartse beweging van het hoofkraakbeen. Deze beweging van het hoofkraakbeen creëert een vacuüm, waardoor er bloed vanuit de koot naar de achterste delen van de hoof stroomt. Het bloed beweegt vanuit de koot, via microvezels in het laterale hoofkraakbeen, naar het achterste deel van de hoof en verdeelt de energie, die tijdens de contactfase wordt opgewekt (William et al., 2002).

Bowker onderzocht de hoeven van paarden met en zonder hoofproblemen en zag bij paarden met gezonde hoeven meer bloedvezels in het laterale hoofkraakbeen dan bij de paarden met hoofproblemen. Men zag ook dat het hoofkussen bij de paarden met gezonde hoeven bestond uit kraakbeenachtig materiaal in plaats van uit elastisch materiaal (William et al., 2002).

2.5.2.1. De rol van het hoefkraakbeen in het hoefmechanisme

Er werd een studie opgestart om verschillen in de macroscopische structuren van hoefkraakbeenderen op te sporen, om de relatie van de hoefkraakbeenderen met de hoefkussens aan te tonen en om eventuele uitgebreide vasculaire netwerken binnen het hoefkraakbeen verder te onderzoeken. Deze studie werd gehouden op 150 hoeven van verschillende paardenrassen (Bowker et al., 1997).

Uit de macroscopische morfologie van de 150 hoefkraakbeenderen kon men afleiden dat er een enorme variatie was in de basisvorm van het kraakbeen, in de samenstelling van het kraakbeen en in zijn relatie met de aangrenzende verbindingsstructuren van de hoef zoals het hoefkussen. Zo was de dikte van het hoefkraakbeen op horizontale snede doorheen de hoef ter hoogte van het straalbeen gelegen tussen 0,38cm en 1,27cm. De samenstelling van het hoefkussen varieerde van vet en los, elastisch weefsel tot fibreus, hyalien en fibrocartilagineus verbindingsweefsel (Bowker et al., 1997).

Er werden verschillen gezien in de dikte van het hoefkraakbeen tussen voor- en achtervoeten. Sommige rassen (Arabische volbloeden) bleken een dikker hoefkraakbeen te hebben en een meer fibrocartilagineus hoefkussen te bezitten dan andere rassen. In deze hoeven vormt het hoefkraakbeen een rigide structuur dat het hoefkussen en de veneuze vasculaire structuren omsluit. Op histologische snedes zag men, na inspuiten van Indische inkt, dat de inkt bloedvaten aankleurde binnen het hoefkraakbeen. Deze bloedvaten waren gekronkelde of rechte, kleine venules die anastomosen vormden met een grotere vene in de vasculaire kanalen van het hoefkraakbeen. Kleine microvezels, of veno-veneuze anastomosen, splitsen zich af en voegen hun vervolgens terug bij de grote centrale vene binnenin de vasculaire kanalen van het hoefkraakbeen. Dit type van vasculair netwerk gaat de functionele lengte van zijn vezels enorm doen toenemen (Bowker et al., 1997).

Het hoefkraakbeen en zijn unieke venensysteem en hun relatie met de hoefwand vormen de basis van de dynamische bloedvloeihypothese voor het verdelen van de energie over de volledige hoef. De aanwezigheid van de verschillende foramina (tunnelachtige openingen) in het kraakbeen toont de passage van bloedvaten aan doorheen het hoefkraakbeen. Deze bloedvaten vormen een verbinding tussen de binnenste veneuze plexus en de buitenste, coronaire veneuze plexus van de voet (Budras et al., 2001).

Het veneus bloedvatensysteem kan worden onderverdeeld in twee delen. De diepe venen draineren de diepere delen van de voet zoals het hoefbeen, het straalbeen, het hoefkussen, terwijl de oppervlakkige venen de hoefwand verzorgen. Het hoefkraakbeen scheidt de buitenste coronaire plexus van de inwendige venenplexus. In voeten met dikker hoefkraakbeen zag men meer vertakkingen in de venen dan in hoeven met dunner hoefkraakbeen (Pollitt, 1995). Deze observaties van een uitgebreid maar zeer nauwkeurig venennetwerk binnenin het hoefkraakbeen, en de ontdekking van hun nauw contact met de hoefwand, suggereert een belangrijke functie voor deze kleine venen naast het vervoeren van grondstoffen (Bowker et al., 1997).

De observatie van de macroscopische en microscopische anatomie van het hoefkraakbeen toont aan dat de anatomie van het hoefkraakbeen en van de hoefkussens gecompliceerder is dan eerder werd aangenomen. De verschillen in dikte van het kraakbeen en de aanwezigheid van een uniek bloedvatennetwerk binnen het hoefkraakbeen geven aan dat deze structuren belangrijk kunnen zijn in het verdelen van energie binnen de voet van het paard (Bowker et al., 1997).

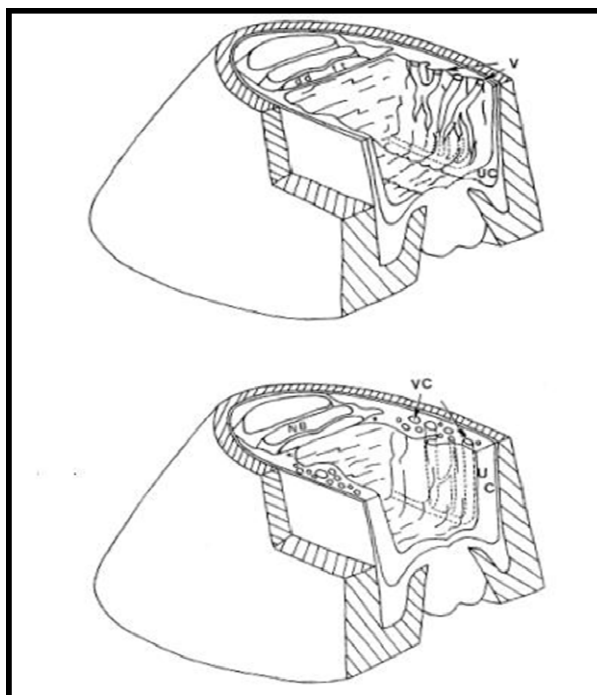


Fig. 4: Bovenaan: een hoef met dun hoefkraakbeen. De bloedvatjes (V) liggen aan de rand van het kraakbeen en zijn er niet door omgeven. Dit kan een teken zijn van zwakkere hoeven. Onderaan: een hoef met dik kraakbeen. De bloedvaten zijn omringd door de foraminae van het kraakbeen (Bowker, 1998).

2.5.2.2. Werking van de dynamische bloedvloeï hypothese

Er wordt aangenomen dat er een dynamisch bloedvloeï mechanisme bestaat in het hoefkraakbeen van de hoef die gebruik maakt van talrijke veno-veneuze anastomosen, om de energie die vrijkomt wanneer de voet op de grond neerkomt, te verdelen. Deze vrijgekomen energie wordt snel verdeeld over de gehele hoef door de snelle bloedvloeï doorheen de vasculaire kanalen binnen het kraakbeen. De bloedvloeï doorheen het kraakbeen en doorheen het palmar aspect van de hoef neemt toe door de hoge negatieve druk die heerst binnenin het hoefkussen tijdens de contactfase. Zo kunnen hoefijzers die verkeerd geplaatst worden, de bloedvloeï doorheen de hoef ernstig verstoren. Daardoor komt de energieverdeling over de volledige hoef in het gedrang met overbelasting als gevolg (Bowker et al., 1997). Tijdens de contactfase, gaat de normaalkracht via de hielen en via de draagrand van de hoef inwerken op de hoefkraakbeenderen waardoor deze naar buiten roteren. Deze uitwaartse rotatie van de hoefkraakbeenderen heeft als gevolg dat er een negatieve druk ontstaat in het hoefkussen en er meer bloed naar de voet wordt aangezogen. Onder invloed van de impactenergie wordt het bloed in de veno-veneuze anastomosen geduwd om de vrijgekomen energie zo snel mogelijk te verdelen over de gehele voet. Het gestegen bloedvolume zal een weerstand moeten overbruggen in de microvezels, en daardoor zal de impactenergie, die naar het been wordt uitgezonden, afgezwakt worden. De negatieve druk binnenin het hoefkussen doet de hervulling van de grote vene (het reservoir) versnellen, zodat de verdeling van de energie kan blijven doorgaan bij de volgende pas (Bowker et al., 1997).

Bij hoeven met hoge hielen of een lange teen zag men dat het dynamisch bloedvloeï mechanisme om energie te verdelen minder efficiënt was. Bij een "normale" hoef wordt de schok opgevangen door de hielen en de palmar hoefwand ter hoogte van de kwartieren. Deze structuren worden de hoefwandpijlers genoemd. Deze werken in op de axiale ligging van het hoefkraakbeen en zorgen uiteindelijk voor de abaxiale rotatie van de hoefkraakbeenderen. Bij probleemhoeven komt deze abaxiale rotatie van het hoefkraakbeen niet altijd (volledig) tot stand, en daardoor wordt de energie die tot stand komt tijdens de contactfase niet altijd even vlot verdeeld over de hoef, met overbelasting tot gevolg (Bowker et al., 1997).

Paarden met dikker kraakbeen en een hoefkussen dat voornamelijk bestaat uit fibreus en/ of cartilagineus elastisch weefsel haalt maximale voordelen uit het hemodynamisch bloedvloeimechanisme om energie te verdelen als ze een normale hoefconformatie hebben. Bij paarden met een dun kraakbeen zal de negatieve druk in het hoefkussen dalen door de verminderde abaxiale beweging van de hoefkraakbeenderen en/of door het fout beslaan van de hoefwandpijlers, daardoor wordt minder energie verdeeld, wat resulteert in een grotere energieoverdracht naar het skelet en de ligamenten in de voet.

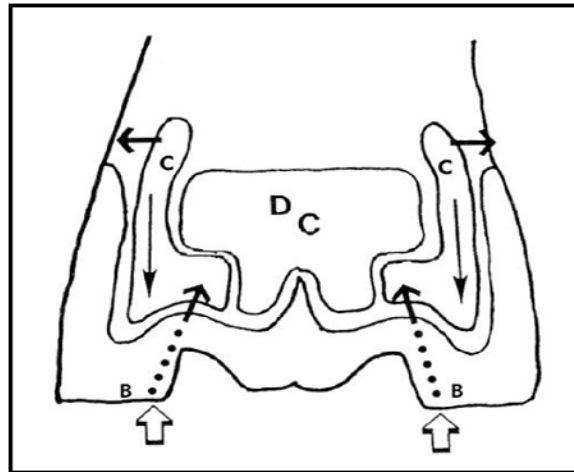


Fig. 5: voorstelling van de werking van het dynamische bloedvloeisysteem. Er wordt druk uitgeoefend door de hoefwandpijlers (B) op het axiale hoefkraakbeen (C), waardoor deze naar buiten wordt gedruwd. Dit creëert een vacuüm in het hoefkussen (DC) waardoor er bloed wordt aangezogen (Bowker, 1998).

2.6. Hoefbeslag

Het aanbrengen van hoefijzers heeft verschillende doeleinden. Meestal worden hoefijzers geplaatst om de hoef te beschermen tegen een te grote slijtage. Aangepast hoefbeslag wordt o.a. gebruikt om de stand van de hoef aan te passen, om beenstandcorrecties bij jonge paarden uit te voeren, om de gang van het paard te bevorderen en om kreupelheden op te lossen (Van Nassau, 2004).

Bij het standaardbeslag wordt aan de ronde voorvoet gebruik gemaakt van hoefijzers met één teenlip of twee zijlippen om te voorkomen dat het ijzer gaat verschuiven. De achterhoeven zijn eerder driehoekig van vorm en hier worden standaard hoefijzers aangebracht die twee lippen bevatten. Ter hoogte van elk kwartier bevindt zich één lip. Dit worden ook wel achterklapijzers genoemd en deze zorgen ervoor dat het hoefijzer niet naar voor kan bewegen (Van Nassau, 2004).

Het gebruik van lippen op een hoefijzer is controversieel. Sommige auteurs beweren dat het plaatsen van lippen op de hoefijzers de beweging van de hoefwand, van de straal en van de zool negatief beïnvloeden. Dit werd getest in een studie waarin vier soorten hoefijzers werden vergeleken: een hoefijzer zonder lippen, een hoefijzer met een teenlip, een hoefijzer met twee lippen en een hoefijzer met drie lippen: één teenlip en twee lippen achter de kwartieren. Maximale beweging van de hoefwandstructuren zag men bij het hoefijzer zonder lippen, minimale beweging zag men bij het hoefijzer met drie teenlippen. Het plaatsen van lippen op hoefijzers heeft dus een invloed op het hoefmechanisme omdat het de hoefwand belet uit te zetten (Hinterhofer et al., 2001).

Verschillende soorten therapeutische hoefijzers zijn ontworpen om bij bepaalde hoefaandoeningen de inwerking van de krachten op de hoeven te minimaliseren. Zo is het eggbar hoefijzer ontworpen, dit is een eivormig hoefijzer dat volledig gesloten is. Dit hoefijzer zou de stabiliteit van de hoef verhogen, het centraal drukpunt verplaatsen naar caudaal - en zo de druk op het straalbeen verlichten - en de druk op de diepe buigpees verlagen (Rogers and

Back, 2003). Men gaan ervan uit dat een gesloten hoefijzer voordelig is bij paarden met podotrochleose omdat dit hoefijzer een groter draagoppervlakte heeft en de hielen verhoogt en minder diep in de zandbodem laat zakken (Rogers and Back, 2007).

Een ander type van hoefijzer is dat met wiggen onderaan de hielen, waardoor de hielen worden verhoogd. Hierdoor zal de diepe buigpees minder belast worden. Er is aangetoond dat dragen van hoefijzers met wiggen het kantelen van de hoef verkort, daardoor wordt er minder druk uitgeoefend op het straalbeen door de diepe buigpees (Rogers and Back, 2007; Hinterhofer et al., 2000). Het langdurig gebruik van hoefijzers die de hielen verhogen is echter niet zonder nadelen. Het gebruik van wiggen of eggbar hoefijzers kan de hielen samendrukken en verzwakken omdat de hoorn groei wordt afgeremd ("crushed heels"). Dit is een belangrijk gevolg waarmee men zeker rekening moet houden (Hinterhofer et al., 2000). Het verhogen van de hielen zal de druk op de diepe buigpees verminderen, maar de totale normaalkracht die inwerkt op de hoef zal daardoor niet verminderen en de krachten gaan verdeeld worden over de andere structuren van de hoef. De druk op de oppervlakkige buiger en in het hoefgewricht zullen hierdoor toenemen (Weaver et al., 2009).

2.7. Bespreking

Het hoefmechanisme is ontwikkeld om de krachten die ontstaan als de hoef de grond raakt op te vangen en af te zwakken om zo de dieper gelegen structuren van de hoef niet te overbelasten. Paarden met een standafwijking of een afwijkingen aan de vorm van de hoeven kunnen hierdoor een verminderde efficiëntie van het hoefmechanisme ondervinden, waardoor het straalbeen en de diepe buigpees overbelast worden, met allerlei hoefproblemen tot gevolg (Bowker et al., 1997).

Hoefproblemen ten gevolge van stoornissen in het hoefmechanisme kunnen verschillende oorzaken hebben. Daarom is het belangrijk dat de hoefsmid en de dierenarts pas gebruik maken van een bepaald type hoefijzer na een grondig onderzoek. Het gebruik van therapeutische hoefijzers is controversieel en verder onderzoek over de verschillende oorzaken van o.a. podotrochleose is nodig om een gepaste hoefijzers te ontwerpen (Rogers and Back, 2007). Ook bij paarden met dik hoefkraakbeen en een uitgebreid venennetwerk in de hoeven is het cruciaal dat de hoeven goed bekapt en beslaan worden om de werking van het hoefmechanisme te optimaliseren. De hoefwandpijlers moeten op dezelfde lijn liggen met het axiaal hoefkraakbeen zodat er een maximale uitwaartse rotatie van het hoefkraakbeen bekomen wordt zodat het hoefmechanisme optimaal kan blijven werken (Bowker et al., 1997).

3. Literatuurlijst

- (1) Ashdown R.R., Done S.H. (2002): Chapter 7. In: color atlas of veterinary anatomy: the horse. 3th edition. Mosby-Wolfe, London. P. 32.
- (2) Back W., Schamhardt H.C., Hartman W., Barneveld A. (1995): Kinematic differences between the distal portions of the forelimbs and hind limbs of horses at the trot. American journal of veterinary research 56(11). P. 1522- 1528.
- (3) Balch O., White K., Butler D. (1991): Factors involved in the balancing of equine hooves. Journal of the American Veterinary Medical Association 198(11). P. 1980- 1989.
- (4) Barrey E. (1990): Investigation of the vertical hoof force distribution in the equine forelimb with an instrumented horseboot. Equine veterinary journal. Supplement 9. P. 35-38.
- (5) Bowker R.M., Van Wulfen K.K., Springer S. (1997): Macroscopic and microscopic anatomy of the ungual cartilage: a hemodynamic flow hypothesis of energy dissipation. AAEP Proceedings 43. P. 354- 355.
- (6) Bowker R.M. (1998): Hemodynamic flow hypothesis for energy dissipation in the equine foot. Hoofcare and lameness 70. P. 36-41.
- (7) Budras K.D., Sack W.O., Röck S. (2001): The pelvic limb. In: Anatomy of the horse, an illustrated text. 4th edition. Uitgeverij Schlütersche. P. 24- 25.
- (8) Colles C.M. (1989): The relationship of frog pressure to heel expansion. Equine veterinary journal 21(1). P. 13- 16.
- (9) Douglas J.E., Mittal C., Thomason J.J., Jofriet J.C. (1996): The modulus of elasticity of equine hoof wall: implications for the mechanical function of the hoof. The journal of experimental biology 199(Pt 8). P.1829-1836.
- (10) Dyhre-Poulsen P., Smedegaard H.H., Roed J., Korsgaard E. (1994): Equine hoof function investigated by pressure transducers inside the hoof and accelerometers mounted on the first phalanx. Equine veterinary journal 26(5). P. 362- 366.
- (11) Jansen M.O., van den Bogert A.J., Riemersma D.J., Schamhardt H.C. (1993): In vivo tendon forces in the forelimb of ponies at the walk, validated by ground reaction force measurements. Acta anatomica 146(2-3). P. 162-167.
- (12) Hinterhofer C.H., Stanek C.H, Haider H. (2000): The effect of flat horseshoes, raised heels and lowered heels on the biomechanics of the equine hoof assessed by finite element analysis. Journal of the veterinary medicine association 47. P 73- 82.
- (13) Hinterhofer C., Stanek C., Haider H. (2001): Finite element analysis (FEA) as a model to predict effect of farriery on the equine hoof. Equine veterinary journal supplement 33. P. 58-62.
- (14) Kane A.J. (1998): Hoof size, shape, and balance as possible risk factors for catastrophic musculoskeletal injury of Thoroughbred racehorses. American journal of veterinary research 59(12). P. 1545- 1552.
- (15) Merkens H.W., Schamhardt H.C., Hartman W., Kersjes A.W. (1986): Ground reaction force patterns of Dutch Warmblood horses at normal walk. Equine veterinary journal 18(3). P. 207-214.
- (16) Merkens H.W., Schamhardt H.C., Van Osch G.J., Van den Bogert A.J. (1993): Ground reaction force patterns of Dutch warmblood horses at normal trot. Equine veterinary journal 25(2). P. 134-137.
- (17) O'Grady S.E., Poupard D.A.(2003): proper physiologic horseshoeing. The veterinary clinics of North America, equine practice 19. P 333- 351.
- (18) Parks A. (2003): Form and function of the equine digit. The veterinary clinics of North America, equine practice 19. P. 285-307.
- (19) Pollitt C.C.(1995): Structure and function. In: color atlas of the horse's foot. Mosby-Wolfe, London. P. 15
- (20) Ratzlaff M.H., Wilson P.D., Hyde M.L., Balch O.K., Grant B.D. (1993): Relationship between locomotor forces, hoof position and joint motion during the support phase of the stride of galloping horses. Acta Anatomica 146(2-3). P. 200- 204.
- (21) Redden R. F. (2003): Hoof capsule distortion: understanding the mechanisms as a basis for rational management. The veterinary clinics of North America, equine practice 19. P. 443-462.
- (22) Roepstorff L., Johnston C., Drevemo S. (2001): In vivo and in vitro heel expansion in relation to shoeing and frog pressure. Equine veterinary journal. Supplement 33. P. 54- 57.
- (23) Rogers C.W., Back W. (2003): Wedge and eggbar shoes change the pressure distribution under the hoof of the forelimb in the square standing horse. Journal of equine veterinary science 23. P. 306- 309.

- (24)Rogers C.W., Back W. (2007): The effect of plain, eggbar and 6°-wedge Shoes on the distribution of pressure under the hoof of horses at the walk. *New Zealand veterinary journal* 55(3). P. 120-124.
- (25)Stump J.E. (1967): Anatomy of the normal equine foot, including microscopic features of the laminar region. *Journal of the American veterinary medical association* 151(12). P. 1588- 1598.
- (26)Turner T.A. (2003): Examination of the equine foot. *The veterinary clinics, equine practice* 19. P. 309- 332.
- (27)Van Nassau R.(2004): De hoef. In: *Hoefproblemen*. 3^e druk. Forte uitgevers bv, Utrecht. P. 19- 27.
- (28)Weaver M.P., Shaw D.J, Munaiwa G., FitzPatrick D.P, Bellenger C.R. (2009): pressure distribution between the deep digital flexor tendon and the navicular bone, and the effect of raising the heels in vitro. *Veterinary and comparative orthopaedics and traumatology* 22(4). P. 278- 282.
- (29)William E. Jones, DVM, PhD (2002): Bowker's foot physiology. *Equine foot science* 12(22). P. P553.