



# Förändringar i vilo-EKG hos hästar med dynamiska obstruktioner i de övre luftvägarna

---

*Resting ECG changes in horses with dynamic upper airway obstructions*

Maria Neil

Självständigt arbete • 30 hp  
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU  
Fakulteten för veterinärmedicin och husdjursvetenskap  
Veterinärprogrammet  
Uppsala 2022





# Förändringar i vilo-EKG hos hästar med dynamiska obstruktioner i de övre luftvägarna

*Resting ECG changes in horses with dynamic upper airway obstructions*

Maria Neil

<b>Handledare:</b>	<b>Miia Riihimäki, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för kliniska vetenskaper</b>
<b>Bitr. handledare:</b>	Anders Ekfalk, Ekfalk Veterinärpraktik AB
<b>Bitr. handledare:</b>	Clarence Kvart, Professor emeritus, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för anatomi, fysiologi och biokemi
<b>Examinator:</b>	John Pringle, Professor emeritus, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för kliniska vetenskaper
<b>Omfattning:</b>	30 hp
<b>Nivå och fördjupning:</b>	A2E
<b>Kurstitel:</b>	Självständigt arbete i veterinärmedicin
<b>Kurskod:</b>	EX0869
<b>Program/utbildning:</b>	Veterinärprogrammet
<b>Kursansvarig inst.:</b>	Institutionen för kliniska vetenskaper
<b>Utgivningsort:</b>	Uppsala
<b>Utgivningsår:</b>	2022
<b>Nyckelord:</b>	DDSP, felläge av mjuka gommen, upprättstående struplock, stämbandsförflamning, gomsegelhöjning, T-vågor, ventrikulära arytmier, endoskopi

**Sveriges lantbruksuniversitet**

Fakulteten för veterinärmedicin och husdjursvetenskap  
Institutionen för kliniska vetenskaper

## Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Fulltexten kommer dock i samband med att dokumentet laddas upp arkiveras digitalt.

Om ni är fler än en person som skrivit arbetet så gäller krysset för alla författare, ni behöver alltså vara överens. Läs om SLU:s publiceringsavtal här:

<https://www.slu.se/site/bibliotek/publicera-och-analysera/registrera-och-publicera/avtal-for-publicering/>.

JA, jag/vi ger härmed min/vår tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.

NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.

## Sammanfattning

Hästar med övre luftvägsobstruktioner har visat sig vara predisponerade för utvecklingen av arytmier. Även om dessa är relativt vanligt förekommande i återhämtningsfasen är en ökad förekomst alarmerande då ventrikulära arytmier tros vara den vanligaste anledningen till de plötsliga dödsfall som sker på banorna.

Det är känt att ökad träning leder till hypertrofi av hjärtmuskulaturen hos så väl hästar som hos andra djurarter, detta för att kunna leva upp till kravet om en ökad hjärtminutvolym. Hypertrofi av hjärtmuskulatur utgör en risk för utvecklandet av både blåsljud och arytmier. Vi vet ännu lite om hur hästarnas hjärtan påverkas av syrebrist och får därför förlita oss på paralleller till andra arter. Man har där kunnat konstatera att syrebrist ger en än större hypertrofi än den som orsakas av enbart träning. Hos människor har intermittent hypoxi också visat sig kunna leda till arytmier.

Dynamiska luftvägsobstruktioner är relativt vanligt förekommande hos våra tävlingshästar. Dessa tros till största del orsakas av nerv- och muskelskador till följd av exempelvis infektioner och trauman. I vissa fall är problemen medfödda. Beroende på vilka nerver och muskler som drabbas uppstår olika typer av fellägen som påverkar luftflödet i varierande grad.

Vi har i denna studie tittat på hur några av dessa luftvägsdiagnoser korrelerar med förändringar i hästarnas vilo-EKG. Data för studien består av vilo-EKG samt viloendoskopi av de övre luftvägarna och arbetsendoskopi för att ställa en så korrekt luftvägsdiagnos som möjligt. Hästarna som ingått i studien är uteslutande travhästar i tävlingskondition, både varm- och kallblodiga. Vi kan konstatera att andelen onormala T-vågor är högre hos hästar med obstruktiva förändringar. Hur dessa T-vågsförändringar korrelerar med utvecklandet av de ventrikulära arytmier som tidigare setts hos dessa grupper av hästar är oklart då inget arbets-EKG ingått i studien.

*Nyckelord:* DDSP, felläge av mjuka gommen, upprättstående struplock, stämbandsförslamning, gomsegelhöjning, T-vågor, ventrikulära arytmier, endoskopi.

## Abstract

Horses with upper airway obstructions have been showed to be predisposed to the development of dysrhythmias. Although these are relatively common during the recovery phase, an increased incidence is alarming since ventricular arrhythmias are considered to be the most common cause of sudden deaths that occur on the racetracks.

Exercise-induced cardiac remodeling has been reported in a large number of species as a natural response to the requirements of an increased cardiac output. The myocardial hypertrophy may lead to development of cardiac murmurs as well as arrhythmias. Little is yet known about how hypoxia affects the equine heart. By drawing parallels to other species, we can learn wheather hypoxia may induce a myocardial hypertrophy that is greater than the one that develops solely after increased exercise. It has also been shown that intermittent hypoxia can induce arrhythmias in humans.

Dynamical upper airway obstructions are a relatively common finding in racehorses. These are thought to occur due to nerve- and muscle damage as a result of, for example, infections or trauma. In some cases, these obstructions are congenital. Depending on which nerves and muscles are affected, different types of obstructions arise that compromises the airflow in various degrees.

In this study we aimed to investigate if changes in the resting electrocardiograms can be found and correlated to upper airway obstructions. Statistics in this study were based upon resting ECGs as well as resting endoscopy of the upper airways and overground endoscopy to establish the most accurate airway diagnosis. The horses included in the study were exclusively trotters, cold- and warmblooded, in racing condition. We conclude that the proportion of abnormal T-waves was higher in horses with obstructive changes. How the abnormal T-waves correlate with the development of ventricular dysrhythmias previously seen in these groups of horses is yet unknown as no exercise ECG was included in the study.

*Keywords:* DDSP, ERF, RLN, PI, T-waves, ventricular arrhythmias, endoscopy.

# Innehållsförteckning

<b>1. Inledning</b>	<b>9</b>
<b>2. Litteraturoversikt</b>	<b>11</b>
2.1. Cirkulationssystemets anatomi och fysiologi	11
2.1.1. Aktionspotentialen och hjärtcykeln	11
2.2. Respirationssystemets anatomi och fysiologi	12
2.2.1. Dynamiska obstruktioner i de övre luftvägarna	13
2.3. Hjärt-lungkapacitet hos hästen	16
2.3.1. Luftvägsavvikelsers betydelse för fysiologin	17
2.4. Hypertrofi av hjärtmuskulaturen vid träning	18
2.4.1. Hypertrofi av hjärtat relaterad till syrebrist	19
2.5. Patologiska förändringar relaterade till hypertrofi	19
2.5.1. Blåsljud	19
2.5.2. Arytmier	19
2.6. Diagnostik	21
2.6.1. Postmortala fynd	21
2.6.2. EKG	21
2.6.3. Cardiac troponin I	22
2.6.4. Endoskopier	22
<b>3. Material och metoder</b>	<b>24</b>
3.1.1. Studien	24
3.1.2. Statistik	25
<b>4. Resultat</b>	<b>26</b>
4.1. Studiepopulation	26
4.1.1. Luftvägsdiagnoser	26
4.1.2. Förändringar i vilo-EKG	27
4.1.3. Förändringar i vilo-EKG korrelerat till luftvägsdiagnos	27
4.1.4. Förändringar i vilo-EKG efter vila	29
<b>5. Diskussion</b>	<b>30</b>
<b>Referenser</b>	<b>32</b>
<b>Tack</b>	<b>40</b>
<b>Populärvetenskaplig sammanfattning</b>	<b>41</b>





# 1. Inledning

Det finns idag mycket lite studier på elektrokardiogram (EKG) på hästar i förhållande till andra djur. EKG används hos häst idag i princip uteslutande för att upptäcka arytmier medan det hos de flesta andra djurslag även används för att titta på morfologiska förändringar av EKG-vågorna relaterade till hjärtats storlek och sjukdomar som påverkar hjärtats elektriska potential (Verheyen 2012). Det fåtal studier som gjorts på häst kan delvis förklaras av att man länge trott att QRS-komplexen hos häst inte skulle täcka hela depolariseringen av hjärtat samt att studier av T vågorna som gjordes i slutet av förra seklet var tvetydiga och inte kunde visa på några klara samband med patologiska förändringar (Rose & Davis 1978; Evans 1991; Van Steenkiste *et al.* 2020). Med den nya teknologin som idag finns med arbets-EKG börjar nya kunskaper att formas och man har nu kunnat bevisa att hästar med luftvägsobstruktioner är predisponerade för utvecklandet av arytmier under arbete (Reef *et al.* 2020). Man har också genom tredimensionell kartläggning av hjärtat sett att hela QRS-komplexet, motsatt vad man tidigare trott, täcker hela depolariseringen vilket ytterligare bör öppna upp möjligheter att med EKG studera vågornas morfologi likt det gjorts hos andra djurslag (Van Steenkiste *et al.* 2020).

Vi vet sedan tidigare att intensifierad träning av hästarna leder till hypertrofi av hjärtmuskulaturen (Buhl *et al.* 2005). Detta har en fysiologisk förklaring där hypertrofin sker som ett svar på kravet av en ökad hjärtminutvolym. Hypertrofin är något som även tycks intensifieras vid tillstånd där syrebrist uppstår då hjärtat måste kompensera för detta (Azzouzi *et al.* 2015). Förändringarna i hjärtmuskulaturen predisponerar hästarna för blåsljud och arytmier (Young *et al.* 2008; Reef *et al.* 2014).

Än idag har man inget klart svar på varför många av de hästar som dör på banorna saknar makroskopiska förändringar i sin hjärtmuskulatur (Lyle *et al.* 2011). Dessa hästar diagnosticeras oftast som troliga fatala kardiella arytmier där ventrikulära arytmier anses vara det vanligaste problemet (Navas de Solis 2020).

Med bakgrund av att hästar med luftvägsobstruktioner oftare än andra hästar uppvisar arytmier vid arbete vore det intressant att se om hästar i träning med samtidigt uppkomna förändringar i de övre luftvägarna har morfologiska förändringar i sina vilo-EKG, förändringar som skulle kunna peka på en förändrad hjärtmuskelfunktion. Att upptäcka kardiovaskulära förändringar innan de eventuellt

orsakar arytmier skulle kunna vara mycket användbart för att förebygga så väl skador som dödsfall.

Data för studien är insamlad av veterinär Anders Ekfalk, Ekfalk Veterinärpraktik AB, Stockholm, och består av vilo-EKG, viloendoskopi av de övre luftvägarna samt arbetsendoskopi. Mätningarna är standardiserade på det sätt att alla undersökningar gjorts med samma utrustning och EKG-elektrodena placerade på samma sätt på alla hästar. Studien har begränsats till att endast inkludera travhästar från 3 års ålder och uppåt i tävlingskondition. Därtill har hästar med förändrade T-vågor som uppmätts vid en hjärtfrekvens över 40 slag per minut exkluderats från studien, så även de hästar som uppvisat tydliga tecken på halsinfektion vid inledande undersökning.

## 2. Litteraturöversikt

### 2.1. Cirkulationssystemets anatomi och fysiologi

Cirkulationssystemets huvuduppgift är att upprätthålla ett väl fungerande blodflöde där cellernas behov av syre och näring tillgodoses och koldioxid samt slaggprodukter kan transporteras bort.

Hjärtat utgörs av två förmak och två kammare (van Loon 2010). Det syrefattiga blodet från kroppen återvänder till hjärtat via höger förmak och passerar därefter via tricuspidalklaffarna till den högra kammaren. Från kammaren går blodet ut via pulmonalklaffarna till lungartärerna där det syresätts. Det nu syresatta blodet passerar tillbaka till hjärtat via lungvenerna till vänster förmak där det pumpas vidare genom mitralisklaffarna till vänster kammare och slutligen ut via aortaklaffarna till aortan där det når kroppen och den systemiska cirkulationen. Från aortas bas utgår även kranskärlen som säkrar syresättningen av hjärtmuskeln.

Det finns två typer av kardiomyocyter – kontraktile och konduktiva celler. De konduktiva cellerna, så kallade hjärtpacemakerceller, är specialiserade på att initiera samt leda de elektriska impulserna i det signalsystem som finns i hjärtat. De har en inbyggd automaticitet vilket innebär att de depolariserar spontant utan yttre stimuli. Detta krävs för att de kontraktile kardiomyocyterna ska kunna kontrahera regelbundet. Konduktiva celler hittas i SA-knutan, AV-knutan samt i His-Purkinje-systemet. Dessa celler är långt större än de vanliga kardiomyocyterna och har även en förmåga att överleda aktionspotentialen i en mycket högre hastighet vilket är en förutsättning för en synkroniserad kontraktion av de tjocka kammarväggarna.

#### 2.1.1. Aktionspotentialen och hjärtcykeln

Aktionspotentialen genereras spontant från sinusknutan i höger förmak vars celler har den högsta hastigheten vad gäller den spontana depolariseringen. Därmed blir sinusknutan den del av hjärtat som sätter rytmen. Denna påverkas dock även av parasympatiskt och sympatiskt stimuli vilka har förmågan att påverka så väl kontraktilitet som hjärtfrekvens. Då dessa elektriska signaler sänds vidare genom hjärtat får man en depolarisering och därigenom kontraktion av kardiomyocyterna.

Från sinusknutan sprids aktionspotentialen vidare över förmaket för att nå atrioventrikulärknutan (AV-knutan), denna elektriska impuls är det som genererar P-vågen på ett elektrokardiogram (EKG). Förmakskontraktionen uppkommer i slutet av ventrikulär diastole och benämnes även förmakssystole. Impulsen leds sedan via AV-knutan där den autonoma tonen påverkar hastigheten av fortledningen. Detta kan ses som P-R-segmentet på ett EKG. Impulserna sprids därefter snabbt via Hisska bunten och purkinjefibrerna för att nå myocyterna i kamrarna där de i sin tur kontraherar. Detta ses som QRS-komplexet på ett EKG och markerar kammarsystole. Då trycket i vänster kammare överstiger det i aorta öppnar aortaklaffarna och blodet strömmar ut. Stängningen av klaffarna markerar slutet på systole och kammardiastole påbörjas. Repolariseringen, då myocyterna återgår till vilofasen, sker utan något stimuli. Repolariseringen ses som T-vågen på ett EKG. Då trycket i kamrarna sjunkit så pass mycket att det är lägre än i förmaken öppnas de atrioventrikulära klaffarna och blod kan åter flöda in och fylla kamrarna. Längden av diastole varierar med hjärtfrekvensen och är alltså längst vid vila (Irvine 1975; Bright 2010; van Loon 2010).

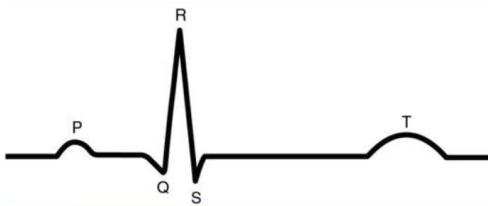


Figure 1 – EKG, ett exempel med vågorna P-T utmarkerade. Modified from EKG-çerxa dillêdanê.png by <https://openstax.org> (CC BY 4.0).

P	Depolarisering av förmaken
Q	Depolarisering av kamrarna. Q-vågen är det initiala negativa utslag som föregår R-vågen. Notera att denna ej alltid ses hos häst.
R	Depolarisering av kamrarna. Det första positiva utslagen. Notera att flera positiva utslag kan förekomma, dessa nämns då R1, R2 etc.
S	Depolarisering av kamrarna. Det negativa utslag som följer det första positiva, dvs R-vågen.
T	Repolarisering av kamrarna

## 2.2. Respirationssystemets anatomi och fysiologi

Hästarna är obligata näsandare vilket innebär att de bara kan andas via nosen och inte genom munnen. Hos den friska hästen är struplocket placerat dikt an den mjuka

gommens ovansida vilket gör att detta är den enda vägen luften fritt kan passera in till luftstrupens öppning.

Respirationssystemets huvudsakliga uppdrag är att ta in syre och frisätta koldioxid. Gasutbytet sker via blodgasbarriären i lungornas alveoler som omges av ett stort kapillärnätverk.

Hästarna har stora lungor och en högre andningskapacitet än andra däggdjur. Tidalvolymen (luftvolym inspirerad eller expirerad per andetag) kan uppgå till 13 L och andningsfrekvensen (andetag per minut) till 120 andetag per minut vilket ger en minutvolym (volym inspirerad eller expirerad per minut) på upp emot 1400 L (Robinson 2007; Robinson & Furlow 2007).



*Figur 1 Normalt svalg. Anders Ekfalk, 2005.*

### 2.2.1. Dynamiska obstruktioner i de övre luftvägarna

Luftvägsobstruktioner under arbete är relativt vanligt förekommande hos hästar. Ett minskat luftflöde vid in- och, eller, utandning leder till ett nedsatt gasutbyte (Franklin *et al.* 2002).

Vid ansträngande arbete skapar obstruktionerna en ökad syrebrist (hypoxi) och förhöjda koldioxidhalter i blodet (hyperkapni). Hästen tröttnar fortare på grund av syrebristen och övergår till anaerob metabolism vilket ger ökade nivåer av laktat då hästarna får en respiratorisk acidosis (Tate *et al.* 1993; Courouce-Malblanc *et al.* 2002; Franklin *et al.* 2012). Detta kan, på lång eller kort sikt, leda till adaptiva kardiella förändringar (Reef *et al.* 2020; Marr *et al.* 2021). En annan faktor som ytterligare kan späda på syrebristen hos dessa hästar är då de förlorar det så viktiga rörelsestyrda andningsmönstret vilket leder till en nedsatt andningsfrekvens i förhållande till det arbete hästen utför (Courouce-Malblanc *et al.* 2002; Fitzharris

*et al.* 2015). Man har även sett att dessa hästar sväljer oftare än andra under arbete (Cerccone *et al.* 2019).

Fellägen som orsakar obstruktioner i de övre luftvägarna hos häst tros till största del bero på nerv eller muskelskador i området som förändrar funktion och position av de anatomiska strukturerna. Vilken typ av felläge de får avgörs helt av vilka nerver eller muskler som är påverkade.

Skadorna kan uppkomma via exempelvis nervkompression vid ödem och inflammationer i svalgområdet, trauma eller iatrogena skador (Parente *et al.* 1998; Courouce-Malblanc *et al.* 2010; Ahern 2013; Martin-Giménez *et al.* 2019). Det finns även medfödda anatomiska variationer som skapar obstruktioner. Skadorna kan vara temporära men är ofta mer degenerativa av typen och det är sällan funktionen återfås om det pågått under en längre tid.

### *ERF*

Upprättstående struplock, ”epiglottic retroflexion” (ERF) är ett tillstånd där epiglottis reser sig från sin normala position dikt an mjuka gommen till ett mer upprättstående läge mot rima glottidis där obstruktion skapas då ingången till trachea täcks för. Hos vissa drabbade hästar kan turbulensen i luftflödet orsaka ett inspiratoriskt missljud från de övre luftvägarna vid arbete. Felläget kan vara permanent, och då ses i vila, men även intermittent och kan i de fallen endast visualiseras via arbetsendoskopi. Ett upprättstående struplock är starkt sammankopplat med nedsatt prestation hos hästarna (Parente *et al.* 1998; Ahern 2013).

Hur det uppkommer är ännu ej helt klarlagt men man har i studier sett att nervblockader bilateralt av *N. hypoglossus* samt *N. glossopharyngeus* ger ett upprättstående struplock. Det är därför troligt att svagheter i *M. hyoepiglotticus* och *M. geniohyoideus* är bidragande orsaker (Holcombe *et al.* 1997)

### *DDSP*

Felläge av mjuka gommen, ”dorsal displacement of the soft palate” (DDSP), är ett ofta intermittent tillstånd där struplocket hamnar under den mjuka gommen istället för sin normala position dikt an ovan den. Detta orsakar ofta kraftiga expiratoriska missljud vid arbete och ger vid insättandet en kraftig dynamisk obstruktion av luftflödet. I samband med detta ses en minskad minut- och tidalvolym, minskad end-tidal syrenivå samt ökning i endtidal koldioxid (Allen & Franklin 2013a). Därmed förhöjs även laktatnivåerna hos dessa hästar (Holcombe *et al.* 1999; Lane *et al.* 2006; Courouce-Malblanc *et al.* 2010).

Då utvecklingen av DDSP är multifaktoriell är det viktigt att hitta bakomliggande orsak för att välja korrekt behandling. Felläget uppkommer vid försvagad muskulatur i området. Patogenesen bakom detta är inte helt klarlagd. Försvagad muskulatur kan orsakas av nervpåverkan i området, ofta till följd av och i samband

med infektioner. Tillståndet kan ibland, framför allt hos unga hästar, vara reversibelt. Det har även rapporterats om en ökad grad DDSP postoperativt efter laryngoplasti hos hästar med stämbandsförlamning (Barnett *et al.* 2014).

DDSP förekommer oftare hos hästar som nyligen genomgått en luftvägsinfektion och man har även kunnat visa att inflammatory airway disease (IAD) är vanligt förekommande hos de hästar som uppvisar DDSP (Courouce-Malblanc *et al.* 2010; Kelly *et al.* 2013).

Holcombe gjorde 1999 en studie där man via nervblockader av de faryngeala branscherna av *N. vagus* initierade DDSP. De föreslog i samband med detta att retrofaryngeal lymfadenopati i samband med infektioner också kan ge upphov till dysfunktion av nerverna och DDSP då de retrofaryngela lymfknutorna ligger mycket nära i anslutning till de faryngeala grenarna av *N. vagus* (Holcombe *et al.* 1999). En muskel som det också forskats på vad gäller patogenesen är *M. thyrohyoideus*. Resektion av muskeln har visats ge DDSP. Man har även visat att minskad aktivitet i denna muskel är vanligt förekommande vid DDSP (Ducharme *et al.* 2003; Cercone *et al.* 2019).



Figur 2 Felläge av mjuka gommen (DDSP). Anders Ekfalk, 2005.

### *PI*

Instabilitet av mjuka gommen, ”palatal instability” (PI), är ett tillstånd där mjuka gommen höjs och på så sätt riskerar att orsaka viss obstruktion av luftvägarna. PI anses tillsammans med ’axial deviation of the aryepiglottic folds’ (ADAF) vara en synbar förändring som föregår utveckling av ren DDSP (Allen & Franklin 2013b).

Man föreslår därför att patogenesen bakom PI är liknande den vid DDSP. Dock ser man inte samma fysiologiska förändringar på respirationen som vid DDSP då obstruktionen av luftflödet inte blir lika kraftig. Man har dock sett att dessa parametrar förändras med allvarlighetsgraden av, det ofta progressiva, tillståndet (Allen & Franklin 2013a).

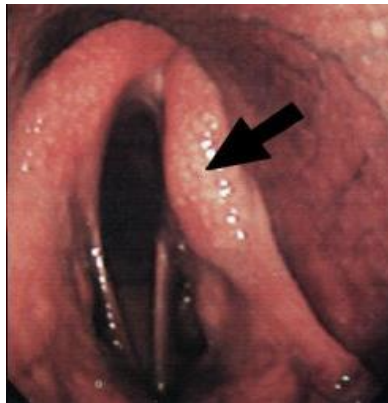
## RLN

Stämbandsförlamning, så kallad "recurrent laryngeal neuropathy" (RLN), är ett tillstånd där det ena, oftast vänstra, arybrosket har förlorat sin förmåga till abduktion i olika grad. Abduktionen styrs av *m. cricoarytenoideus dorsalis* vänstra och högra del som hos dessa hästar är förvagad till följd av skador på motsvarande gren av *N. recurrens*. Skadorna kan vara såväl idiopatiska som iatrogena eller orsakade av annat trauma. Även sjukdomstillstånd som luftsäcksmykoser, kvarka och tumörer kan orsaka RLN (Anderson 2007). Man misstänker även att en ärftlig komponent kan finnas iblandad (Ibi *et al.* 2003).

Demyeliniseringen av nerven resulterar i att stämbandet blir hängande. Tillsammans kommer stämband och arybrosk hänga inåt och minska hålrummet som utgör rima glottidis vilket ger ett minskat luftintag.

Hästarna får ofta ett klassiskt missljud vid arbete, därav namnen struppipare eller 'roarer'. För lägre grader av RLN krävs ofta arbetsendoskopi för att ställa diagnos medan de högre graderna kan ses direkt i vila.

RLN är ofta en degenerativ process som ökar i grad över tid (Dixon *et al.* 2002).



Figur 3 Vänstersidig stämbandsförlamning. Anders Ekfalk, 2005.

## 2.3. Hjärt-lungkapacitet hos hästen

Hos de flesta däggdjur, och så även den otränade hästen, utgör hjärtat generellt sett 0,6 % av den totala kroppsvikten (Williams *et al.* 2015). Kapplöpningshästarna däremot har ett mycket större hjärta jämfört med kroppsvikten där det kan utgöra upp till 1 % (Gunn 1989). Ett stort hjärta ger en större slagvolym, det vill säga den mängd blod som lämnar hjärtats kammare vid varje slag. Hästarna har även, jämfört med andra arter, en stor variabilitet i vilket de kan ändra sin hjärtfrekvens. Spannet ligger mellan 25 slag per minut i vila till 250 slag per minut vid maximalt arbete.



Detta gör att de har en möjlighet att kraftigt öka sin hjärtminutvolym som är ett resultat av slagvolym och hjärtfrekvens. Hjärtminutvolymen kan hos hästar i träning uppgå till 300 L per minut (Bright 2010). Hästarna har förutom detta även en stor mjältreserv av erythrocyter som vid sympatikuspåslag kan få hematokriten att stiga till nära det dubbla av vad som ses hos en häst i vila (McKeever *et al.* 1993).

Aerob träning är beroende av syreliverans från blod till muskelvävnad. Det är därför som förhållandet mellan hjärtminutvolym och volymen av konsumerat syre per minut ( $\dot{V}O_2$ ) är avgörande för den möjliga träningsintensiteten.  $\dot{V}O_2$  bestäms av hjärtminutvolym (Q) samt den arteriella (aO<sub>2</sub>) och venösa (vO<sub>2</sub>) syredifferensen.

$$\dot{V}O_2 = Q * (aO_2 - vO_2)$$

Hos hästen sker en hastig ökning av  $\dot{V}O_2$  max och CO<sub>2</sub>-output vid intensifierad träning. Dessa minskar även på motsvarande sätt i perioder då träningen trappas ned samt vid vila. Då träningsnivåerna höjs är det främst de kardiovaskulära förändringarna som svarar för den ökning som ses av  $\dot{V}O_2$ . Detta beror på att den ventilatoriska förmågan är oförmögen till adaptation. Varken tidalvolym, minutvolym eller andningsfrekvens ökar med träning (Art & Lekeux 1993; Roberts *et al.* 1999).

### 2.3.1. Luftvägsavvikelsers betydelse för fysiologin

Hästar med luftvägsobstruktioner får ett reducerat gasutbyte vilket resulterar i ett lägre  $\dot{V}O_2$  max och ett högre partialtryck av koldioxid (PaCO<sub>2</sub>) (Tate *et al.* 1993; King *et al.* 1994; Ohmura *et al.* 2020). En mildare form av träningsinducerad hypoxemi förekommer dock hos alla hästar (Franklin *et al.* 2012). Det uppstår vid hård träning, främst som ett resultat av minskad syrediffusion mellan alveoler och kapillärer snarare än den missanpassning av ventilation till perfusions-ratio (Va/Q) som ses hos hästar med luftvägsproblem (Wagner *et al.* 1989).

Som tidigare nämnt leder detta till såväl som hypoxi som hyperkapni. Då hästarna fortare tröttnar och går över till en anaerob metabolism byggs även laktat upp i musklerna. Höga nivåer av laktat och CO<sub>2</sub> utgör tillsammans en risk för acidosis då blodets pH sänks (Tate *et al.* 1993). Då hästar med nedsatt prestation undersökts med arbets-EKG har man sett att arytmier är vanligare hos hästar med högre laktatnivåer (Alberti *et al.* 2021; Marr *et al.* 2021). Hypoxin skulle tillsammans med elektrolytrubbningar, där förändringar i kaliumhomeostasen anses vara den största riskfaktorn genom dess påverkan på membranpotentialen, kunna predisponera för utveckling av arytmier (Maxson-Sage *et al.* 1998; Physick-Sheard & McGurrian

2010). Det är sedan tidigare även väl känt att människor som leder av kronisk andningsinsufficiens är predisponerade för arytmier (Sbarbaro *et al.* 1993).

## 2.4. Hypertrofi av hjärtmuskulaturen vid träning

Förstoring av hjärtat, som orsakas av hypertrofi av kardiomyocyterna, är ett adaptivt svar på träning som beskrivits i ett stort antal studier hos flertalet arter. Hos människor är träningsinducerad hjärtförstoring ett vanligt förekommande fenomen kallat "athletes heart". Förstoringen sker då i såväl höger som vänster kammare med både ökad muskelmassa och ökat hålrum inne i kamrarna (Scharhag *et al.* 2002). Samma svar på träning har setts hos kapplöpningshästar (Kubo *et al.* 1974; Young 1999; Buhl *et al.* 2005; Lightfoot *et al.* 2006). Långvarig uthållighetsträning har även visats inducera hjärthypertrofi hos både råttor och möss (Guasch *et al.* 2013; Radovits *et al.* 2013; Oláh *et al.* 2019).

Hypertrofi av kardiomyocyterna leder till en aktivering av kardiella progenitorceller vilka kan vara relaterade till de ökade nivåerna av "hepatocyte growth factor" (HGF) och "insuline like growth factor 1" (IGF-1) som ses vid långvarig träning (Xiao *et al.* 2014). Den ökade hjärt- till kroppsviktsration kan därför vara ett resultat av såväl hypertrofi av de gamla kardiomyocyterna som utvecklandet av nya kardiomyocyter.

Hos hästar har en ökad massa av vänster kammare relaterats till perioder av intensifierad träning och kroppsvikt. Den har även visat sig vara större hos hingstar än hos ston (Buhl *et al.* 2005). Hypertrofin relateras trots detta snarare till den ökade träningen och inte till hästens ålder (Kubo *et al.* 1974). I en studie följdes 2-åriga fullblod under en period på 9 månader. Under denna tid ökade massan av vänster kammare med 33 % och den interna diametern av vänster kammare med nästan 7 % hos hästarna (Young 1999). En signifikant förstoring av hjärtat har även påvisats hos varmlodiga travare, 2 - 3,5 år gamla, efter intensifierad träning. I den studien placerades hästarna i två kategorier baserat på träningsintensitet, de som hade den högsta intensiteten hade också den största förändringar med ökad vänsterkammardiameter i diastole samt en muskelmassa av vänster kammare (Buhl *et al.* 2005).

Kubo visade i en studie från 1974 att en förstoring av hjärtat sker simultant i båda kamrarna hos fullblod. Även den interna diametern av höger förmak ökar med träning (Lightfoot *et al.* 2006).

Nedtrappning och vila efter perioder av intensiv träning resulterar efter en tid i minskade hjärtdimensioner så väl som ett lägre  $\dot{V}O_2$  max (Art & Lekeux 1993; Kriz *et al.* 2000).

### 2.4.1. Hypertrofi av hjärtat relaterad till syrebrist

Hur hästens hjärta svarar på syrebrist på cellnivå är ännu ej undersökt. För att förstå hur syrebrist påverkar hjärtmuskulaturen rent generellt får man söka sig till studier gjorda hos andra djurslag. Hypertrofi av kardiomyocyter och perivaskulär fibros har i studier på gnagare visat sig kunna utvecklas som ett svar på intermittent hypoxi (Hayashi *et al.* 2014; Mitsuishi *et al.* 2017). En annan studie gjord av Liere 1965 visade att inducerad hypoxi ger en hypertrofi som är än större än den som uppkommer efter enbart långa träningsperioder. Hjärtremodellering och hypertrofi vid syrebrist sker på grund av ett förändrat genuttryck vilket inkluderar aktivering av hypoxia inducible factor (HIF) och microRNAs vid namn hypoxamiRs (Azzouzi *et al.* 2015). HIF-a är under normala omständigheter undertryckta av prolyl hydro-lase domain (PHD) enzymer men PHD inhiberas vid låga syrenivåer. Aktiveringen av HIF-a transkriptionsfaktorer och hypoxamiRs leder till hypertrofi av kardiomyocyterna samt angiogenes.

## 2.5. Patologiska förändringar relaterade till hypertrofi

### 2.5.1. Blåsljud

Blåsljud till följd av klaffläckage är relativt vanligt förekommande hos hästar. Läckage kan uppstå på grund av fysiologiska eller patologiska förändringar av klaffarna. Då klaffarna inte sluter tätt får man ett backflöde som kan höras som blåsljud. Blåsljud och klaffdefekter har visats öka i takt med en ökad träningsgrad och korrelerar troligen med den ökade hjärtstorleken (Buhl *et al.* 2005; Young *et al.* 2008; Reef *et al.* 2014).

Insufficiens av mitralis- och tricuspidalisklaffarna är det som oftast ses hos kapplöpningshästar. Mitralisinsufficiens är ofta mild och fysiologiskt orsakad till följd av hypertrofi och dilatation av vänster kammare (Young *et al.* 2008). Mer allvarliga fall av mitralisinsufficiens kan leda till prestationsnedsättning, ventrikulär takykardi eller förmaksflimmer då backflödet kan leda till en sekundär förstoring av förmaket (Bright 2010). Tricuspidalisinsufficiens uppkommer på liknande sätt till följd av en förstoring av höger kammare, vilket även kan ske sekundärt i samband med ökad resistens i lungartärer vid exempelvis sjukdom, men orsakar mer sällan problem i form av arytmier.

### 2.5.2. Arytmier

Arytmier kan uppkomma både med och utan underliggande hjärtfel och upptäcks lättast med ett EKG.

Man kan hos hästarna hitta såväl kardiella som extrakardiella orsaker till uppkomsten av arytmier. Till de kardiella hör exempelvis hypertrofi av hjärt-

muskulaturen, fibros i förmak och klaffläckage. Hos människor är det även vanligt med strukturella skador i hjärtat till följd av tidigare hjärtinfarkter, någonting som är väldigt sällsynt hos häst. Till de extrakardiella orsakerna hör förändringar i autonom ton i samband med träning och stress samt elektrolytrubbningar (Navas de Solis 2016; van Loon 2019).

Förändringar i autonom ton är något som hos häst kan ses vid stress och träning. Både sympatisk- och parasympatisk aktivering har visat sig kunna orsaka rytmrubbningar. Det finns även studier på möss som pekar på att känsligheten för den autonoma tonen kan påverkas av träningsrelaterade förändringar i hjärtmuskulaturen, detta till följd av ökad känslighet för cirkulerande katekolaminer i kardiomyocyterna (Guasch *et al.* 2013).

Hos människor har man sett en ökad risk för arytmier hos vältränade personer, så väl förmaks- som kammararytmier (Guasch & Mont 2017). Vid intermittent hypoxi ses också en ökad risk för utveckling av dessa arytmier vilket kan härledas till både de kardiella förändringar som sker samt extrakardiella förändringar i autonom ton (Arnaud *et al.* 2020). Vid både dessa tillstånd ökar även risken för plötsliga dödsfall.

### *Förmaksflimmer*

Förmaksflimmer är en typ av arythmi där ektopiska foki tar över signaleringen från SA-knutan. P-vågorna ersätts av f-vågor och QRS-komplexen kommer i en oregelbunden takt. Det ger en oregelbundet oregelbunden rytm. Hjärtrytmen kan vara förhöjd men det är hos häst även vanligt att de ligger på en normal till milt förhöjd hjärtfrekvens vilket gör att den oregelbundna frekvensen ofta misstas som fysiologiskt intermittenta AV-block (Kvart 2021). Förmaksflimmer kan vara persistent eller intermittent, intermittenta fall där hjärtat spontant konverterar tillbaka till en normal rytm kallas paroxysmala.

De flesta hästar som drabbas saknar underliggande hjärtsjukdomar bortsett från milda klaffläckage (van Loon 2019). Kapplöpningshästar som drabbas visar tecken i form av nedsatt maximal prestationsförmåga.

### *Ventrikulära arytmier*

Ventrikulära arytmier (VA) är arytmier som utgår från kamrarna. Dessa kan delas in i olika kategorier. Ventrikulär takykardi definieras som tre eller fler följande ventrikulära extraslag (VES) med en hjärtfrekvens över 120. Är hjärtfrekvensen lägre benämns dessa som idioventrikulär rytm (IVR) eller accelererad idioventrikulär rytm (AIVR). De förekommer även som enstaka extraslag. Precis som vid förmaksflimmer förekommer paroxysmala VA som konverterar spontant.

VA är idag ansett som en av de främsta riskfaktorerna för plötsliga dödsfall hos kapplöpningshästar under och efter lopp (Navas de Solis 2020).

Att hästarna drabbas av VES i återhämtningsfasen efter lopp är dock relativt vanligt och har setts i upp 15,9 % av travhästarna i de studier som gjorts (Physick-Sheard & McGurrin 2010). Under själva arbetet är det dock sällan hästarna drabbas om man räknar bort enstaka VES (Navas de Solis 2016).

## 2.6. Diagnostik

### 2.6.1. Postmortala fynd

I en stor internationell studie av träningsrelaterade fynd postmortem hos kapplöpningshästar visades kardiella och/eller pulmonära fel vara den vanligaste anledningen till plötsliga dödsfall på banorna, detta hittades i 29,9 % av de studerade fallen (Lyle *et al.* 2011). I nästan lika många fall, 25 % av de hästar som studerades, diagnosticerade patologerna hästarna med presumtiva kardiella eller kardio-pulmonära fel då inga makroskopiska lesioner eller histologiska fynd kunde avgöra dödsorsaken.

Man vet idag att många hästar drabbas av arytmier såväl under som, framför allt, efter lopp och tror att detta kan ha en koppling till både nedsatt prestation och de plötsliga dödsfall som sker på banorna. Det är även möjligt att många av de hästar som dör med makroskopiska fynd i form av pulmonära eller intrathorakala blödningar i själva verket är sekundära till hastigt uppkomna arytmier (Physick-Sheard & McGurrin 2010; Navas de Solis 2016).

### 2.6.2. EKG

Det finns idag få studier av EKG på häst jämfört med andra djurslag. Hos häst används det idag i princip enbart för att upptäcka eventuella arytmier medan det hos människor och smådjur finns väl standardiserade sätt för att läsa av såväl ektopi som storlek och sjukdomar som påverkar hjärtats elektriska potential (Verheyen 2012). Att upptäcka arytmier hos hästarna under arbete är dock viktigt ur säkerhets-synpunkt på de hästar som uppvisat tecken på hjärtfel och kan endast göras med hjälp av arbets-EKG då dessa, bortsett från persistenta förmaksflimmer, sällan ses i vila vilket delvis begränsat användningsområdet för vilo-EKG.

Även de standardiserade mätningarna har varit ett problem på hästsidan där tydliga riktlinjer för hur EKG ska tas saknas vilket gör att det mellan kliniker finns en bred variation på såväl vilka avledningar som tas samt var elektroderna placeras (Reef 2020).

Nyare studier som gjorts har visat på samband mellan arytmier, främst VES, och nedsatt prestation samt obstruktioner i de övre luftvägarna med samtidigt förhöjda laktatnivåer (Reef *et al.* 2020; Alberti *et al.* 2021; Marr *et al.* 2021).

Repolariseringen är en kritisk fas när det gäller uppkomsten av arytmier. Vid ventrikulära arytmier hos såväl människor som gnagare är det främst förändringar i repolariseringen, dvs T-vågen, som utmärker sig som en risk för utveckling av potentiellt fatala kammararytmier (Arnaud *et al.* 2020). Många av de tillstånd som förknippas med utveckling av arytmier hos hästar har hos människa visat sig kunna utlösa förändringar av T-vågorna på EKG, däribland överbelastning av vänster kammare, hypoxi och elektrolytförändringar. Dessa förändringar har också kunnat härledas till en högre mortalitet (Isaksen *et al.* 2021). Förändrade T-vågor har hos hästar kopplats samman med nedsatt prestation i studier (Rose & Davis 1978; Kwart 1989) men har även påvisats hos hästar som presterat väl över tid vilket gjort att den setts som en mycket osäker parameter för patologiska förändringar (Evans 1991; Evans & Polglaze 1994). I dessa studier har det setts samband mellan en ökad andel förändrade T-vågor i takt med en ökad träningsintensitet samtidigt som det även visats att antalet förändrade T-vågor minskar i perioder av vila. Man har även sett samband mellan sympatiskt stimuli och T-vågsförändringar (Ramirez *et al.* 2011). Detta styrker värdet av ett standardiserat tillvägagångssätt för mätningarna som enligt äldre studier föreslagits göras vid en hjärtfrekvens under 42 slag per minut för att få korrekta värden (Rose & Davis 1978).

### 2.6.3. Cardiac troponin I

Cardiac troponin (cTnI) är biomarkörer som används för att upptäcka skador på hjärtmuskulaturen hos såväl människor som hästar. Ökade nivåer markerar skador på myokardiet som kan uppstå vid hjärtsjukdom. Det är dock ovanligt att hästar med endast strukturella förändringar och arytmier har ökade troponin-nivåer vilket gör att användbarheten för att upptäcka dessa problem är begränsad vid avsaknad av samtidig myokardskada (Nath *et al.* 2012). Man har dock sett att nivåerna av cTnI är lindrigt förhöjda hos de flesta hästar efter ansträngning (Nostell & Häggström 2008; Rossi *et al.* 2019).

### 2.6.4. Endoskopier

Endoskopi av de övre luftvägarna på häst kan göras såväl i vila som under arbete för att utvärdera anatomi och funktion.

Endoskopi under arbete kan göras antingen med så kallat ”overground endoscopy” (OGE) då endoskopin görs under träningslika förhållanden där endoskopet kopplas till en dator vilken fästs vid hästens sida, där spelas filmen in och man kan se den såväl i realtid på en skärm som i efterhand. Det kan även göras på löpband, så kallat ”high speed treadmill endoscopy” (HSTE). Hur vanliga olika diagnoser är skiljer sig dock mellan dessa undersökningssätt.

Stämbandsförflamningar visar sig lika ofta vid HSTE som vid OGE då detta är ett mer permanent fel som ofta även kan upptäckas i vila (Allen & Franklin 2010; Barakzai & Dixon 2011). DDSP kan även det visa sig i vila, men det är svårare att diagnosticera då det i många fall inte syns förrän hästen blivit riktigt trött. Hästar som visar DDSP i vila har dock en signifikant risk att utveckla DDSP även vid HSTE och behandling av dessa baserat på DDSP i vila anses i studier ändå befogat med tanke på den låga proportionen av falskt positiva diagnoser. Det är vanligare att man diagnosticerar hästar med DDSP vid endoskopier med HSTE än vid OGE, troligen för att man vid HSTE ofta kommer upp i en annan intensitet vilket gör hästarna tröttare. Vid OGE sitter ofta tränaren eller en annan kusk upp bakom hästen och det är inte alltid tempot är tillräckligt högt för att orsaka samma trötthet som hästen visat i lopp vilket kan försvåra diagnosticeringen. För att diagnosticera PI krävs alltid en arbetsendoskopi då detta inte kan ses i vila.

ERF ansågs tidigare som ett mer ovanligt dynamiskt luftvägsfel men har nu blivit en allt vanligare diagnos i samband med att fler hästar undersöks med arbetsendoskopier (Ahern 2013).

## 3. Material och metoder

Studien är en retrospektiv studie baserad på data insamlad av Anders Ekfalk, VMD. Alla hästar som ingår i studien har besökt Anders Ekfalk under 2020 för att få luftvägarna utredda på grund av nedsatt prestation och, eller, misstanke om luftvägsproblematik. I studien har hästarnas luftvägsdiagnoser jämförts med de avvikelser som kunnat hittats i deras vilo-EKG.

### 3.1.1. Studien

Studien inkluderar 48 travhästar som under år 2020 utretts efter en historia av nedsatt prestation samt misstanke om luftvägsproblematik som bakgrund till detta.

Underlaget för studien består av vilo-EKG, viloendoskopi av de övre luftvägarna samt arbetsendoskopi. Mätningarna är standardiserade på så sätt att alla undersökningar gjorts med samma utrustning och EKG-elektrodena placerade på samma sätt på alla hästar. Studien har begränsats till att endast inkludera travhästar, både varm- och kallblodiga, från 3 års ålder och uppåt i tävlingskondition. Därtill har hästar med förändrade T-vågor som uppmätts vid en hjärtfrekvens över 40 slag per minut exkluderats från studien, så även de hästar som uppvisat tydliga tecken på halsinfektion vid inledande undersökning.

I studien har hästarna kategoriserats efter luftvägsdiagnos respektive avsaknad av detta samt vilka avvikelser som funnits i deras vilo-EKG. Studien inkluderar även en uppföljning där en del av de hästar som har haft förändringar på sitt vilo-EKG och inom 3 månaders vila undersökts på nytt.

Med EKG har man på alla hästar registrerat så väl uni- som bipolära extremitetsavledningar samt bröstavledningar. Då inga av de hästar som ingick i studien uppvisade arytmier vid undersökningen är de endast indelade i grupper baserade på typ av T-vågsförändringar respektive avsaknad av detta. Två grupper av abnormala T-vågor inkluderades studien; hästar med positiva T-vågor i bröst-avledningarna samt hästar med positiva T-vågor i avledning 2 och aVF (Steel 1963; Holmes & Rezakhani 1975). 11 av de hästar som uppvisade förändrade T-vågor vid inledande undersökning har även följts upp med ett nytt vilo-EKG efter en viloperiod på upp till 3 månader där man undersökt en eventuell normalisering av dessa.

Slutlig luftvägsdiagnos har ställts genom en sammanvägning av vilo- och arbetsendoskopi. I ett fåtal fall har hästarna haft tydliga permanenta luftvägsobstruktioner i vila, dessa har därmed inte behövt undersökas med arbetsendoskopi



för att ställa den slutgiltiga diagnosen. I de fall arbetsendoskopi krävts har detta gjorts på travbana över 2000 meter där tempot anpassats till att vara tillräckligt gott för att få hästen ordentligt trött.

### **3.1.2. Statistik**

Statistiken är gjord med hjälp av statistikprogrammet R-studio. Olika diagram har tagits fram med hjälp av R för att visualisera antalet EKG-förändringar hos de olika grupperna baserade på luftvägsdiagnoser. För att se om en statistisk skillnad finns mellan dessa grupper har Fisher's exact test via programmet R.

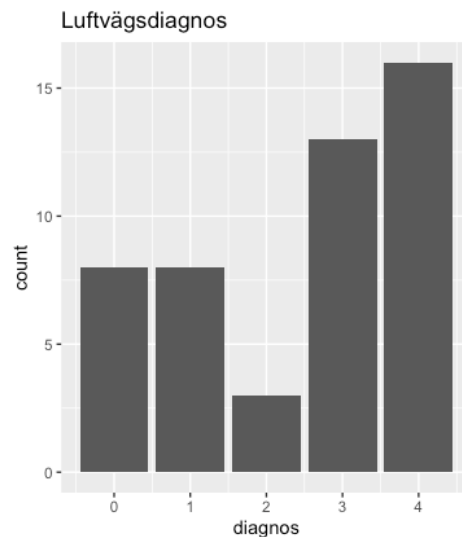
## 4. Resultat

### 4.1. Studiepopulation

Studiepopulationen utgjordes av 11 kallblodiga och 37 varmblodiga travhästar. 24 av dessa var valacker, 18 ston och 6 hingstar. Åldern varierade från 3 till 12 år. Samtliga hästar var i tävlingskondition vid undersökningen.

#### 4.1.1. Luftvägsdiagnoser

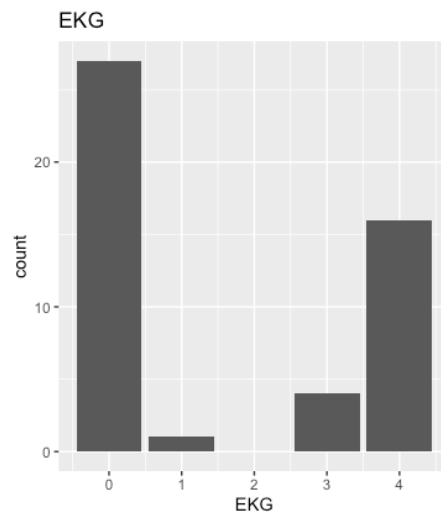
Av de totalt 48 hästar som ingick i studien diagnosticerades 8 hästar med PI, 3 hästar med RLN, 13 hästar med DDSP och 16 hästar med ERF. 8 hästar var helt utan anmärkning (UA) avseende luftvägarna i så väl vila som under arbete.



Figur 4 Antal hästar per luftvägsdiagnos. 0: UA, 1: PI, 2: RLN, 3: DDSP, 4: ERF

### 4.1.2. Förändringar i vilo-EKG

De EKG-förändringar som hittades hos hästarna i undersökningen var positiva T-vågor i bröstavledningarna, detta återfanns hos 4 av de undersökta hästarna, samt positiva T-vågor i avledning 2 och aVF vilket återfanns hos 16 av de undersökta hästarna. 1 häst avvek även från det normala då den hade onormalt negativt QRS komplex i framför allt avledning 3 och aVF utan positivt netto i avledning 2.



Figur 5 0: Normalt EKG, 1: Onormalt QRS-komplex, 3: Positiva T-vågor i bröstavledningarna, 4: Positiva T-vågor i avledning 2 och aVF.

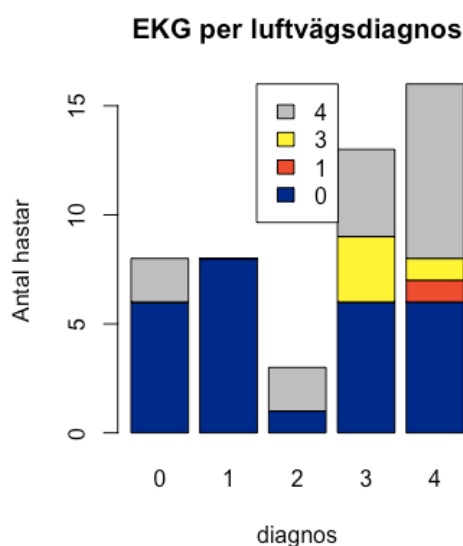
### 4.1.3. Förändringar i vilo-EKG korrelerat till luftvägsdiagnos

Av de hästar 8 som var UA avseende luftvägarna hade 2 stycken (25 %) förändrade T-vågor. Båda dessa hade positiva T-vågor i avledning 2 och aVF. Av hästarna som diagnosticerats med PI, 8 stycken, uppvisade samtliga hästar normala vilo-EKGn. Endast 3 hästar i studien diagnosticerades med RLN, av dessa uppvisade 2 stycken förändrade T-vågor (67 %), båda dessa hade positiva T-vågor avledning 2 och aVF. Av de 13 hästar som diagnosticerades med DDSP uppvisade 7 hästar förändringar i form av positiva T-vågor (54%). Av dessa hade 3 av hästarna positiva T-vågor i bröstavledningarna medan 4 av hästarna uppvisade positiva T-vågor i avledning 2 och aVF. ERF diagnosticerades hos 16 hästar, förändrade T-vågor hittades här hos 9 av dessa (56 %). Ytterligare en häst i denna grupp uppvisade ett avvikande vilo-EKG med onormalt negativt QRS komplex i framför allt avledning 3 och aVF utan positivt netto i avledning 2.

Luftvägsdiagnos	Total n	EKG-diagnos (vila)				P-värde jämfört med Luftvägar UA
		Normal (%)	Onormal QRS	Positiv T-våg Bröstavledn.	Positiv T-våg Avledn. 2 & aVF	
UA	8	6 (75)			2	
PI	8	8 (100)				0,467
DDSP	13	6 (46)		3	4	0,367
ERF	16	6 (44)	1	1	8	0,193
RLN	3	1 (33)			2	0,49

Figur 6 Total korrelation mellan förändringar i vilo-EKG och luftvägsdiagnos  $p=0.0155$  (Fisher's exact test).

För att undersöka korrelationen mellan förändringar i hästarnas vilo-EKG och luftvägsdiagnos gjordes ett Fisher's exact test. P-värdet landar då på 0,01555 vilket innebär att det totalt sett finns en statistiskt signifikant skillnad mellan grupperna. Exkluderar man den häst som uppvisat förändringar i sina QRS-komplex och bara inkluderar de med normala alternativt förändrade T-vågor får man ett P-värde på 0,02179 vilket fortfarande innebär en signifikant skillnad grupperna emellan. För enskilda korrelationer mellan luftvägsdiagnosgrupperna och den grupp hästar som var UA vid luftvägsutredningen ses siffror i diagrammet ovan. Jämför man grupperna DDSP och PI som i grunden tros vara samma diagnos får man en statistiskt signifikant skillnad där P-värdet landar på 0,018.



Figur 7 EKG-förändringar per luftvägsdiagnos. Diagnos luftvägar: 0: UA, 1: PI, 2: RLN, 3: DDSP, 4: ERF  
EKG: 0: UA, 1: Onormalt QRS-komplex, 3: Positiva T-vågor i bröstavledningarna, 4: Positiva T-vågor i avl 2 och aVF.

#### 4.1.4. Förändringar i vilo-EKG efter vila

Av de hästar som uppvisade förändrade T-vågor undersöktes 10 på nytt efter vila inom 3 månader. Hos dessa var T-vågorna normaliserade i 9 av fallen. 3 av dessa hästar hade vid första undersökning avvikelser i bröstavledningarna och övriga i avledning 2 och aVF. Av dessa hästar var 2 stycken utan anmärkning avseende luftvägarna medan 4 av hästarna var diagnosticerade med DDSP, 3 med ERF och 1 häst med RLN. Den enda häst som inte hade normaliserats efter vila var en av hästarna utan tecken på luftvägsobstruktion, denna tog även ett nytt EKG efter ytterligare 4 veckor och visade då fortsatt avvikande T-vågor i avledning 2 och aVF.

## 5. Diskussion

I resultatet kan man se att en skillnad finns mellan de olika grupperna vilket till viss del stödjer hypotesen att andelen hästar med förändrade T-vågor är ökad hos hästar med luftvägsobstruktioner. Resultaten indikerar även att andelen hästar med förändrade T-vågor skulle kunna öka med graden av obstruktion. Som tidigare nämnt i arbetet är PI ett förstadium till DDSP där den respiratoriska förmågan inte alls komprimeras i samma utsträckning som en renodlad DDSP sett till syre- och koldioxidnivåer. Detta gör det intressant att se hur dessa grupper skiljer sig åt där 100% av hästarna med PI har normala vilo-EKG medan detta endast ses hos 46% av hästarna med DDSP. Skillnaden mellan dessa grupper är statistiskt signifikant. Gruppen av hästar med RLN är mycket liten och det är svårt att tyda något ifrån denna data, även om andelen hästar med förändrade T-vågor är hög procentuellt sett. RLN är även en patologisk förändring som påverkar hästarna olika mycket utifrån den grad av förlamning som uppstår. I denna studie ingår även en relativt stor andel hästar (33%) med upprättstående struplock (ERF) varav många har förändringar på sina T-vågor. Det är svårt att hitta data på hur mycket luftutbytet komprimeras vid ERF då få studier har gjorts på tillståndet. Värt att notera är att flertalet av dessa hästar har ett permanent felläge vilket begränsar luftflödet redan vid lägre arbetsbelastning.

Hos de hästar som initialt uppvisade förändrade T-vågor och följdes upp efter vila hade i stort sett alla (90 %) normaliserats. Den enda häst som aldrig normaliserades var utan anmärkning avseende luftvägarna.

Av de studier som gjorts på T-vågor tidigare har resultaten varit tvetydiga, de har pekat på att dessa skulle vara vanligare hos hästar med nedsatt prestation men samtidigt att de förekommer även hos väl fungerande hästar. Att bedöma prestation hos tävlingshästar är dock mycket subjektivt då många andra faktorer än tävlingsresultat spelar in. Det är viktigt att komma ihåg att en häst som vinner lopp inte alltid presterar på sin maximala kapacitet, särskilt inte i de fall där man bedömer hästars resultat i handicaplopp där förutsättningarna att vinna loppet anpassats efter hästens form över tid. Lika så kan det finnas utrymme för förbättring hos en häst som presterar väl i löpningar. Med bakgrund av detta är denna studie mer säker i sin skattning då hästarna har bekräftade prestationssänkande diagnoser som dessutom korrelerar med T-vågsförändringar. Genom att dra ett gränsvärde för

hjärtfrekvensen i denna studie redan vid 40 slag per minut bör man även ha eliminerat de T-vågor som kan ha orsakats av sympatiskt stimuli.

Man ska ha i åtanke att de hästar som presenterades med normala luftvägar också sökte veterinär för nedsatt prestation, vilka dock berott på andra orsaker som inte klarlagts. Om luftvägsobstruktioner under arbete påverkar hästarna i den grad att de utvecklar förändringar på hjärtat förklarar även detta bitvis resultatet av normaliseringen som sker i vila då den enda häst som inte normaliserats saknade tecken på luftvägsobstruktion och kan ha uppvisat dessa EKG-förändringar av annan orsak.

Då det i tidigare studier setts samband mellan ökade laktatnivåer vid luftvägsobstruktioner och arytmier hade varit mycket intressant att se den data som lagt grunden till detta arbete kombinerat med arbets-EKG. Detta för att se om de T-vågsförändringar som ses i vila kan korrelera till utvecklingen av ventrikulära arytmier i samband med arbete. Detta skulle även kunna ge indikationer huruvida de arytmier man sett i samband med arbete beror på just de höjda laktatnivåerna eller att laktatnivåerna indikerar en mer allvarlig grad av luftvägsobstruktion som i sig lett till sekundära kardiella förändringar på grund av upprepad intermitterent hypoxi, alternativt en kombination av de två tillstånden. Trots att VES är relativt vanligt förekommande i återhämtningsfasen är det ett viktigt ämne för forskningen då de flesta plötsliga dödsfall som sker på banorna anses orsakas av just hastigt uppkomna ventrikulära arytmier. Att hitta bakomliggande faktorer för uppkomsten av dessa är av stor betydelse för sporten, så väl av djurskyddsskäl som för säkerheten för de aktiva som arbetar med och runt djuren samt ekonomin i det.

Sammanfattningsvis ser vi i denna pilotstudie en indikation på att korrelationer kan finnas mellan luftvägsobstruktioner och EKG-förändringar i vila, främst i form av förändrade T-vågor. Även om uppkomsten och betydelsen av dessa EKG-förändringar inte är klarlagd skulle de potentiellt kunna indikera att risk föreligger för utveckling av ventrikulära arytmier och plötsliga dödsfall. Studien visar att de allra flesta fall är reversibla efter perioder av vila men ställer inga svar på frågan om vad som händer med hjärtat om dessa hästar återgått i full träning utan att grundproblemet åtgärdats. Det finns därför indikation på att hästar med RLN, DDSP och ERF bör följas upp med vilo-EKG, särskilt i de fall där hästarna ej genomgår en operation för att åtgärda sitt luftvägsstillstånd. Vice versa skulle det även vara indicerat att utreda eventuell luftvägsproblematik hos de hästar som uppvisar avvikande T-vågor på sitt vilo-EKG.

## Referenser

- Ahern, B. (2013). Dynamic epiglottic retroversion in six adult horses: A good example of dynamic endoscopy and critical thinking. *Equine Veterinary Education*, 25. <https://doi.org/10.1111/eve.12090>
- Alberti, E., Stucchi, L., Lo Feudo, C.M., Stancari, G., Conturba, B., Ferrucci, F. & Zucca, E. (2021). Evaluation of cardiac arrhythmias before, during, and after treadmill exercise testing in poorly performing standardbred racehorses. *Animals (Basel)*, 11(8). <https://doi.org/10.3390/ani11082413>
- Allen, K. & Franklin, S. (2013a). The effect of palatal dysfunction on measures of ventilation and gas exchange in Thoroughbred racehorses during high intensity exercise. *Equine Veterinary Journal*, 45(3), 350-4. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2012.00627.x>
- Allen, K. & Franklin, S. (2013b). Characteristics of palatal instability in Thoroughbred racehorses and their association with the development of dorsal displacement of the soft palate. *Equine Veterinary Journal*, 45(4), 454-9. <https://doi.org/10.1111/evj.12004>
- Allen, K.J. & Franklin, S.H. (2010). Comparisons of overground endoscopy and treadmill endoscopy in UK Thoroughbred racehorses. *Equine Veterinary Journal*, 42(3), 186-91. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2010.00033.x>
- Anderson, B.H. (2007). 34 - Recurrent laryngeal neuropathy: clinical aspects and endoscopic diagnosis. I: McGorum, B.C., Dixon, P.M., Robinson, N.E. & Schumacher, J. (eds.) *Equine Respiratory Medicine and Surgery*. Edinburgh: W.B. Saunders. 483-495. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-7020-2759-8.50039-8>
- Arnaud, C., Bochaton, T., Pépin, J.-L. & Belaidi, E. (2020). Obstructive sleep apnoea and cardiovascular consequences: Pathophysiological mechanisms. *Archives of Cardiovascular Diseases*, 113(5), 350-358. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.acvd.2020.01.003>
- Art, T. & Lekeux, P. (1993). Training-induced modifications in cardiorespiratory and ventilatory measurements in thoroughbred horses. *Equine Veterinary Journal*, 25(6), 532-6. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1993.tb03008.x>
- Azzouzi, H.E., Leptidis, S., Doevendans, P.A. & De Windt, L.J. (2015). HypoxamiRs: regulators of cardiac hypoxia and energy metabolism. *Trends in Endocrinology and Metabolism*, 26(9), 502-8. <https://doi.org/10.1016/j.tem.2015.06.008>



- Barakzai, S.Z. & Dixon, P.M. (2011). Correlation of resting and exercising endoscopic findings for horses with dynamic laryngeal collapse and palatal dysfunction. *Equine Veterinary Journal*, 43(1), 18-23. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2010.00108.x>
- Barnett, T.P., O'Leary, J.M., Dixon, P.M. & Barakzai, S.Z. (2014). Characterisation of palatal dysfunction after laryngoplasty. *Equine Veterinary Journal*, 46(1), 60-3. <https://doi.org/10.1111/evj.12081>
- Bright, J.M., Marr, C.M (2010). Introduction to cardiac anatomy and physiology. I: Marr, C.M., Bowen, I.M. (eds.) *Cardiology of the Horse*. 2<sup>nd</sup> ed. Edinburgh: W.B. Saunders. 3-19.
- Buhl, R., Ersbøll, A.K., Eriksen, L. & Koch, J. (2005). Changes over time in echocardiographic measurements in young Standardbred racehorses undergoing training and racing and association with racing performance. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 226(11), 1881-7. <https://doi.org/10.2460/javma.2005.226.1881>
- Cercone, M., Olsen, E., Perkins, J.D., Cheetham, J., Mitchell, L.M. & Ducharme, N.G. (2019). Investigation into pathophysiology of naturally occurring palatal instability and intermittent dorsal displacement of the soft palate (DDSP) in racehorses: Thyrohyoid muscles fatigue during exercise. *PLoS One*, 14(10), e0224524. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0224524>
- Courouge-Malblanc, A., Deniau, V., Rossignol, F., Corde, R., Leleu, C., Maillard, K., Pitel, P.H., Pronost, S. & Fortier, G. (2010). Physiological measurements and prevalence of lower airway diseases in Trotters with dorsal displacement of the soft palate. *Equine Veterinary Journal Supplement* (38), 246-55. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2010.00276.x>
- Courouge-Malblanc, A., Pronost, S., Fortier, G., Corde, R. & Rossignol, F. (2002). Physiological measurements and upper and lower respiratory tract evaluation in French Standardbred Trotters during a standardised exercise test on the treadmill. *Equine Veterinary Journal Supplement* (34), 402-7. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2002.tb05456.x>
- Dixon, P.M., McGorum, B.C., Railton, D.I., Hawe, C., Tremaine, W.H., Pickles, K. & McCann, J. (2002). Clinical and endoscopic evidence of progression in 152 cases of equine recurrent laryngeal neuropathy (RLN). *Equine Veterinary Journal*, 34(1), 29-34. <https://doi.org/10.2746/042516402776181169>
- Ducharme, N.G., Hackett, R.P., Woodie, J.B., Dykes, N., Erb, H.N., Mitchell, L.M. & Soderholm, L.V. (2003). Investigations into the role of the thyrohyoid muscles in the pathogenesis of dorsal displacement of the soft palate in horses. *Equine Veterinary Journal*, 35(3), 258-63. <https://doi.org/10.2746/042516403776148200>
- Evans, D.L. (1991). T-waves in the equine electrocardiogram: effects of training and implications for race performance. *Equine Exercise Physiology*, 3, 475-481.
- Evans, D.L. & Polglaze, K.E. (1994). Relationships between electrocardiographic findings, racing performance and training in standardbred horses. *Australian*

- Veterinary Journal*, 71(11), 375-8. <https://doi.org/10.1111/j.1751-0813.1994.tb00932.x>
- Fitzharris, L.E., Franklin, S.H. & Allen, K.J. (2015). The prevalence of abnormal breathing patterns during exercise and associations with dynamic upper respiratory tract obstructions. *Equine Veterinary Journal*, 47(5), 553-6. <https://doi.org/10.1111/evj.12325>
- Franklin, S.H., Naylor, J.R. & Lane, J.G. (2002). Effect of dorsal displacement of the soft palate on ventilation and airflow during high-intensity exercise. *Equine Veterinary Journal, Supplement* (34), 379-83. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2002.tb05452.x>
- Franklin, S.H., Van Erck-Westergren, E. & Bayly, W.M. (2012). Respiratory responses to exercise in the horse. *Equine Veterinary Journal*, 44(6), 726-32. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2012.00666.x>
- Guasch, E., Benito, B., Qi, X., Cifelli, C., Naud, P., Shi, Y., Mighiu, A., Tardif, J.C., Tadevosyan, A., Chen, Y., Gillis, M.A., Iwasaki, Y.K., Dobrev, D., Mont, L., Heximer, S. & Nattel, S. (2013). Atrial fibrillation promotion by endurance exercise: demonstration and mechanistic exploration in an animal model. *Journal of the American College of Cardiology*, 62(1), 68-77. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2013.01.091>
- Guasch, E. & Mont, L. (2017). Diagnosis, pathophysiology, and management of exercise-induced arrhythmias. *National Reviews. Cardiology*, 14(2), 88-101. <https://doi.org/10.1038/nrcardio.2016.173>
- Gunn, H.M. (1989). Heart weight and running ability. *Journal of Anatomy*, 167, 225-33.
- Hayashi, T., Sasaki, M., Watanabe, A., Furukawa, Y., Nomura, A., Uehashi, W., Kato, R., Ijiri, Y., Nakagawa, T., Asahi, M., Yamaguchi, T., Izumi, Y. & Yoshiyama, M. (2014). O-linked N-acetyl glucosamine (O-GlcNAc) regulates autophagy and apoptosis in cardiomyocytes: a double-edged sword in intermittent hypoxia-induced cardiac remodeling. *Journal of the American College of Cardiology*, 63(12) Supplement, A868-A868. [https://doi.org/doi:10.1016/S0735-1097\(14\)60868-8](https://doi.org/doi:10.1016/S0735-1097(14)60868-8)
- Holcombe, S.J., Derksen, F.J., Stick, J.A. & Robinson, N.E. (1997). Effects of bilateral hypoglossal and glossopharyngeal nerve blocks on epiglottic and soft palate position in exercising horses. *American Journal of Veterinary Research*, 58(9), 1022-6.
- Holcombe, S.J., Derksen, F.J., Stick, J.A. & Robinson, N.E. (1999). Pathophysiology of dorsal displacement of the soft palate in horses. *Equine Veterinary Journal Supplement* (30), 45-8. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1999.tb05186.x>
- Holmes, J.R. & Rezakhani, A. (1975). Observations on the T wave of the equine electrocardiogram. *Equine Veterinary Journal*, 7(2), 55-62. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1975.tb03230.x>
- Ibi, T., Miyake, T., Hobo, S., Oki, H., Ishida, N. & Sasaki, Y. (2003). Estimation of heritability of laryngeal hemiplegia in the Thoroughbred horse by Gibbs sampling. *Journal of Equine Science*, 14(3), 81-86.

- Irvine, C.H. (1975). Electrocardiographic anomalies in the racehorse. *New Zealand Veterinary Journal*, 23(11), 262-9. <https://doi.org/10.1080/00480169.1975.34256>
- Isaksen, J.L., Ghouse, J., Graff, C., Olesen, M.S., Holst, A.G., Pietersen, A., Nielsen, J.B., Skov, M.W. & Kanters, J.K. (2021). Electrocardiographic T-wave morphology and risk of mortality. *International Journal of Cardiology*, 328, 199-205. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2020.12.016>
- Kelly, P.G., Reardon, R.J.M., Johnston, M.S. & Pollock, P.J. (2013). Comparison of dynamic and resting endoscopy of the upper portion of the respiratory tract in 57 Thoroughbred yearlings. *Equine Veterinary Journal*, 45(6), 700-704. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/evj.12061>
- King, C.M., Evans, D.L. & Rose, R.J. (1994). Cardiorespiratory and metabolic responses to exercise in horses with various abnormalities of the upper respiratory tract. *Equine Veterinary Journal*, 26(3), 220-5. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1994.tb04373.x>
- Kriz, N.G., Hodgson, D.R. & Rose, R.J. (2000). Changes in cardiac dimensions and indices of cardiac function during deconditioning in horses. *American Journal of Veterinary Research*, 61(12), 1553-60. <https://doi.org/10.2460/ajvr.2000.61.1553>
- Kubo, K., Senta, T. & Sgimoto, O. (1974). Relationship between Training and Heart in the Thoroughbred Racehorse. *Experimental Reports of Equine Health Laboratory*, 1974(11), 87-93. <https://doi.org/10.11535/jes1961.1974.87>
- Kvart, C. (1989). Elektrokardiografi (EKG) på häst. *Svensk Veterinärtidning*, 14(41), 837-852.
- Kvart, C. (2021). Professor emeritus, Institutionen för anatomi, fysiologi och biokemi, SLU. Personligt meddelande.
- Lane, J.G., Bladon, B., Little, D.R., Naylor, J.R. & Franklin, S.H. (2006). Dynamic obstructions of the equine upper respiratory tract. Part 1: observations during high-speed treadmill endoscopy of 600 Thoroughbred racehorses. *Equine Veterinary Journal*, 38(5), 393-9. <https://doi.org/10.2746/042516406778400583>
- Lightfoot, G., Jose-Cunilleras, E., Rogers, K., Newton, J.R. & Young, L.E. (2006). An echocardiographic and auscultation study of right heart responses to training in young national hunt thoroughbred horses. *Equine Veterinary Journal Supplement* (36), 153-8. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2006.tb05532.x>
- Lyle, C.H., Uzal, F.A., McGorum, B.C., Aida, H., Blissitt, K.J., Case, J.T., Charles, J.T., Gardner, I., Horadagoda, N., Kusano, K., Lam, K., Pack, J.D., Parkin, T.D., Slocombe, R.F., Stewart, B.D. & Boden, L.A. (2011). Sudden death in racing Thoroughbred horses: an international multicentre study of post mortem findings. *Equine Veterinary Journal*, 43(3), 324-31. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2010.00164.x>
- Marr, C.M., Franklin, S., Garrod, G., Wylie, C., Smith, L., Dukes-McEwan, J., Bright, J. & Allen, K. (2021). Exercise-associated rhythm disturbances in poorly performing Thoroughbreds: risk factors and association with racing performance. *Equine*

- Veterinary Journal, Equine Veterinary Journal*, 53(4), 656-669.  
<https://doi.org/10.1111/evj.13354>
- Martin-Giménez, T., Cruz, A.M., Barragán, A., Montero, E., Sanchez, P.G., Caballero, G. & Corradini, I. (2019). Delayed onset vagus nerve paralysis after occipital condyle fracture in a horse. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 33(6), 2780-2785.  
<https://doi.org/10.1111/jvim.15581>
- Maxson-Sage, A., Parente, E.J., Beech, J., Lindborg, S., May, L.L. & Teleis, D.C. (1998). Effect of high-intensity exercise on arterial blood gas tensions and upper airway and cardiac function in clinically normal quarter horses and horses heterozygous and homozygous for hyperkalemic periodic paralysis. *American Journal of Veterinary Research*, 59(5), 615-8.
- McKeever, K.H., Hinchcliff, K.W., Reed, S.M. & Robertson, J.T. (1993). Role of decreased plasma volume in hematocrit alterations during incremental treadmill exercise in horses. *American Journal of Physiology*, 265(2 Pt 2), R404-8.  
<https://doi.org/10.1152/ajpregu.1993.265.2.R404>
- Mitsuishi, R., Imano, H., Kato, R., Ijiri, Y., Yamaguchi, T., Yoshiyama, M. & Hayashi, T. (2017). Rivaroxaban attenuates cardiac remodeling due to intermittent hypoxia by suppressing the synergistic effects of PAR-1 and PAR-2. *Journal of the American College of Cardiology*, 69(11) Supplement, 2033-2033.  
[https://doi.org/doi:10.1016/S0735-1097\(17\)35422-0](https://doi.org/doi:10.1016/S0735-1097(17)35422-0)
- Nath, L.C., Anderson, G.A., Hinchcliff, K.W. & Savage, C.J. (2012). Serum cardiac troponin I concentrations in horses with cardiac disease. *Australian Veterinary Journal*, 90(9), 351-7. <https://doi.org/10.1111/j.1751-0813.2012.00970.x>
- Navas de Solis, C. (2016). Exercising arrhythmias and sudden cardiac death in horses: Review of the literature and comparative aspects. *Equine Veterinary Journal*, 48(4), 406-13. <https://doi.org/10.1111/evj.12580>
- Navas de Solis, C. (2020). Ventricular arrhythmias in horses: Diagnosis, prognosis and treatment. *The Veterinary Journal*, 261, 105476.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2020.105476>
- Nostell, K. & Häggström, J. (2008). Resting concentrations of cardiac troponin I in fit horses and effect of racing. *Journal of Veterinary Cardiology*, 10(2), 105-9.  
<https://doi.org/10.1016/j.jvc.2008.10.001>
- Ohmura, H., Mukai, K., Matsui, A., Takahashi, T. & Jones, J.H. (2020). Cardiopulmonary function during supramaximal exercise in hypoxia, normoxia and hyperoxia in Thoroughbred horses. *Journal Equine Science*, 31(4), 67-73.  
<https://doi.org/10.1294/jes.31.67>
- Oláh, A., Kovács, A., Lux, Á., Tokodi, M., Braun, S., Lakatos, B.K., Mátyás, C., Kellermayer, D., Ruppert, M., Sayour, A.A., Barta, B.A., Merkely, B. & Radovits, T. (2019). Characterization of the dynamic changes in left ventricular morphology and function induced by exercise training and detraining. *International Journal of Cardiology*, 277, 178-185. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2018.10.092>

- Parente, E.J., Martin, B.B. & Tulleners, E.P. (1998). Epiglottic retroversion as a cause of upper airway obstruction in two horses. *Equine Veterinary Journal*, 30(3), 270-2. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1998.tb04500.x>
- Physick-Sheard, P.W. & McGurrin, M.K.J. (2010). Ventricular arrhythmias during race recovery in Standardbred racehorses and associations with autonomic activity. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 24(5), 1158-1166. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1939-1676.2010.0553.x>
- Radovits, T., Oláh, A., Lux, Á., Németh, B.T., Hidi, L., Birtalan, E., Kellermayer, D., Mátyás, C., Szabó, G. & Merkely, B. (2013). Rat model of exercise-induced cardiac hypertrophy: hemodynamic characterization using left ventricular pressure-volume analysis. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 305(1), H124-34. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00108.2013>
- Ramirez, R.J., Ajjjola, O.A., Zhou, W., Holmström, B., Lüning, H., Laks, M.M., Shivkumar, K. & Mahajan, A. (2011). A new electrocardiographic marker for sympathetic nerve stimulation: modulation of repolarization by stimulation of stellate ganglia. *Journal of Electrocardiology*, 44(6), 694-699. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jelectrocard.2011.07.030>
- Reef, V.B. (2020). Diseases of the cardiovascular system. I: *Large Animal Internal Medicine*. Elsevier. 478-514. e5.
- Reef, V.B., Bonagura, J., Buhl, R., McGurrin, M.K., Schwarzwald, C.C., van Loon, G. & Young, L.E. (2014). Recommendations for management of equine athletes with cardiovascular abnormalities. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 28(3), 749-61. <https://doi.org/10.1111/jvim.12340>
- Reef, V.B., Davidson, E.J., Slack, J. & Stefanovski, D. (2020). Hypercapnia and hyperlactatemia were positively associated with higher-grade arrhythmias during peak exercise in horses during poor performance evaluation on a high-speed treadmill. *Veterinary Journal*, 266, 105572. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2020.105572>
- Roberts, C.A., Marlin, D.J. & Lekeux, P. (1999). The effects of training on ventilation and blood gases in exercising thoroughbreds. *Equine Veterinary Journal Supplement* (30), 57-61. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1999.tb05189.x>
- Robinson, N.E. (2007). 2 - How horses breathe: the respiratory muscles and the airways. I: McGorum, B.C., Dixon, P.M., Robinson, N.E. & Schumacher, J. (eds.) *Equine Respiratory Medicine and Surgery*. Edinburgh: W.B. Saunders. 19-31. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-7020-2759-8.50007-6>
- Robinson, N.E. & Furlow, P.W. (2007). 1 - Anatomy of the Respiratory System. I: McGorum, B.C., Dixon, P.M., Robinson, N.E. & Schumacher, J. (eds.) *Equine Respiratory Medicine and Surgery*. Edinburgh: W.B. Saunders. 3-17. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-7020-2759-8.50006-4>
- Rose, R.J. & Davis, P.E. (1978). The use of electrocardiography in the diagnosis of poor racing performance in the horse. *Australian Veterinary Journal*, 54(2), 51-6. <https://doi.org/10.1111/j.1751-0813.1978.tb00341.x>

- Rossi, T.M., Kavsak, P.A., Maxie, M.G., Pearl, D.L., Pyle, W.G. & Physick-Sheard, P.W. (2019). Post-exercise cardiac troponin I release and clearance in normal Standardbred racehorses. *Equine Veterinary Journal*, 51(1), 97-101. [https://doi.org/10.1111/evj.12486\\_62](https://doi.org/10.1111/evj.12486_62)
- Sbarbaro, G., Parentini, G.C., Angelinelli, P.L., Ricci, S. & Marchioni, C.F. (1993). [Respiratory insufficiency and cardiac arrhythmia: the rationale of treatment]. *Minerva Medica*, 84(6), 307-12.
- Scharhag, J., Schneider, G., Urhausen, A., Rochette, V., Kramann, B. & Kindermann, W. (2002). Athlete's heart: right and left ventricular mass and function in male endurance athletes and untrained individuals determined by magnetic resonance imaging. *Journal of the American College of Cardiology*, 40(10), 1856-63. [https://doi.org/10.1016/s0735-1097\(02\)02478-6](https://doi.org/10.1016/s0735-1097(02)02478-6)
- Steel, J.D. (1963). *Studies on the Electrocardiogram of the Racehorse*. Sydney: Australasian Medical Publishing.
- Tate, L.P., Corbett, W.T., Bishop, B.J. & Foreman, J.H. (1993). Blood gas tensions, acid-base status, heart rates, and venous profiles in exercising horses with laryngeal hemiplegia before and after corrective surgery. *Veterinary Surgery*, 22(3), 177-83. <https://doi.org/10.1111/j.1532-950x.1993.tb00378.x>
- van Loon, G. (2019). Cardiac arrhythmias in horses. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*, 35(1), 85-102. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cveq.2018.12.004>
- van Loon, G., Patteson, M (2010). Electrophysiology and arrhythmogenesis. I: Marr, C.M., Bowen, I.M. (red.) *Cardiology of the Horse*. 2<sup>nd</sup> ed. Edinburgh: W.B: Saunders. 59-73.
- Van Steenkiste, G., L, V., Decloedt, A., Schauvliege, S., Boussy, T. & van Loon, G. (2020). Endocardial electro-anatomic mapping in healthy horses: Normal sinus impulse propagation in the left and right atrium and the ventricles. *Veterinary Journal*, 258, 105452. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2020.105452>
- Verheyen, T. (2012). *Equine Electrocardiography: Exploration of new diagnostic strategies*. Diss. Ghent University, Faculty of Veterinary Medicine, Large Animal Internal Medicine. <https://biblio.ugent.be/publication/3076864/file/4336168.pdf>
- Wagner, P.D., Gillespie, J.R., Landgren, G.L., Fedde, M.R., Jones, B.W., DeBowes, R.M., Pieschl, R.L. & Erickson, H.H. (1989). Mechanism of exercise-induced hypoxemia in horses. *Journal of Applied Physiology (1985)*, 66(3), 1227-33. <https://doi.org/10.1152/jappl.1989.66.3.1227>
- Williams, T.M., Bengtson, P., Steller, D.L., Croll, D.A. & Davis, R.W. (2015). The healthy heart: Lessons from nature's elite athletes. *Physiology (Bethesda)*, 30(5), 349-57. <https://doi.org/10.1152/physiol.00017.2015>
- Xiao, J., Xu, T., Li, J., Lv, D., Chen, P., Zhou, Q. & Xu, J. (2014). Exercise-induced physiological hypertrophy initiates activation of cardiac progenitor cells. *International Journal of Clinical & Experimental Pathology*, 7(2), 663-9.

- Young, L.E. (1999). Cardiac responses to training in 2-year-old thoroughbreds: an echocardiographic study. *Equine Veterinary Journal Supplement* (30), 195-8.  
<https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1999.tb05217.x>
- Young, L.E., Rogers, K. & Wood, J.L. (2008). Heart murmurs and valvular regurgitation in thoroughbred racehorses: epidemiology and associations with athletic performance. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 22(2), 418-26.  
<https://doi.org/10.1111/j.1939-1676.2008.0053.x>

# Tack

Jag vill rikta ett stort tack till Anders Ekfalk, både för den data du har samlat in och ställt till förfogande för detta arbete samt inte minst för all kunskap och inspiration som du har delat med dig av genom åren.

Även ett stort tack till Clarence Kvarn för hjälp med EKG-avläsning, stöttning genom arbetets gång och intressanta diskussioner.



## Populärvetenskaplig sammanfattning

Hos de flesta däggdjur, och så även den otränade hästen, utgör hjärtat generellt sett 0,6 % av den totala kroppsvikten. Kapplöpningshästarna däremot har ett mycket större hjärta jämfört med kroppsvikten där det kan utgöra upp till 0,85 – 1 %. Ett stort hjärta underlättar en stor slagvolym, det vill säga den mängd blod som lämnar hjärtats kammare vid varje slag.

Förstoring av hjärtat, som orsakas av förstörade hjärtmuskelceller, är ett adaptivt svar på träning som sker för att möjliggöra en ökad hjärtminutvolym (den volym blod som pumpas ut från hjärtat varje minut). Hos människor är träningsinducerad hjärtförstoring ett vanligt förekommande fenomen kallat "athletes heart". Hos hästar har en ökad massa av så väl vänster som höger kammare kunnat relateras till perioder av intensifierad träning. Likaså minskar dessa dimensioner under perioder av vila. Denna förstoring av hjärtat kan dock få konsekvenser för hästarna i form av blåsljud och arytmier. Även syrebrist tycks kunna leda till en hjärtförstoring som i sig är än större än den som enbart uppkommit som ett svar på träning.

Hästarna är så kallade obligata näsandare vilket innebär att de endast kan andas genom näsan och inte genom munnen. Detta gör att olika obstruktioner i de övre luftvägarna får större konsekvenser för luftflödets fria passage in till luftstrupen. Hästarna får minskade syrehalter i blodet samtidigt som koldioxidhalten i blodet stiger och laktat, mjölksyra, bildas. Detta gör att hästarna tröttnar fortare. Bland de vanligaste halsfelen som orsakar obstruktion hittar vi fellägen av mjuka gommen, stämbandsförflamningar och upprättstående struplock. Dessa diagnosticeras med hjälp av luftvägsendoskopier där man med en kamera går ned i halsen för att se på svalgets anatomi och funktion, vilket kan göras så väl i vila som under arbete. Det har även visats att dessa tillstånd med samtidigt höjda laktatnivåer ökar risken för kammararytmier under arbete.

Hastigt uppkomna kammararytmier anses idag vara den vanligaste anledningen till plötsliga dödsfall hos hästar under tävling, även om de förekommer i mindre mängd hos ett stort antal hästar. De är svåra fall att utreda då man inte hittar någon tydlig dödsorsak vid obduktion. Trots detta finns idag få studier på vilo-EKG på häst, de som idag finns syftar främst till att hitta arytmier. Vid ventrikulära arytmier hos så väl människor som gnagare är det främst förändringar i repolariseringen, dvs T-vågen på ett vilo-EKG, som utmärker sig som en risk för utveckling av potentiellt fatale kammararytmier.

I den här studien har vi tittat på hur förändringar i hästarnas vilo-EKG korrelerar till olika luftvägsdiagnoser. Hästarna som undersökts är uteslutande travhästar, både varm- och kallblodiga, i tävlingskondition. Data består av vilo-EKG samt vilo- och arbetsendoskopier av hästarna. Hästarna har baserat på dessa undersökningar placerats i grupper efter luftvägsdiagnos och antalet hästar med förändringar på sina vilo-EKG har sedan räknats ihop efter typ av förändring där alla utom en diagnosticerats som antingen normala eller med onormala T-vågor.

Som resultat kan vi se att antalet förändrade T-vågor är höjd hos de hästar som har upprättstående struplock, stämbandsförslamningar samt felläge av mjuka gommen. Detta skulle kunna ha ett samband med de kammararytmier man i andra studier sett i den här gruppen av hästar. Om utvecklingen av de arytmier man sett i samband med arbete beror på just de höjda laktatnivåerna eller att laktatnivåerna indikerar en mer allvarlig grad av luftvägsobstruktion som i sig lett till sekundära hjärtförändringar är ännu inte klargjort. Fler studier på ämnet behövs där man inkluderar så väl vilo- som arbets-EKG.