

Utveckling av nya analysmetoder för HRV vid emotionella filmstimuli

Agnes Österman (BME23), Alma Haglund (BME23)

Sammanfattning—There is an established relationship between the autonomic nervous system and the variation in time intervals between consecutive heartbeats, known as heart rate variability (HRV). High HRV is associated with a flexible nervous system, while low HRV has been linked to stress and anxiety. In this study, 32 participants were exposed to four film clips (total duration of 50 minutes), two with negative emotional valence (murder and rape) and two neutral. Electrocardiogram data were recorded to investigate the relationship between physiological responses and emotional stimuli.

Conventional methods typically involve extracting and summing a high-frequency band (HF-power), which reflects parasympathetic activity. Lower HF-power is associated with reduced parasympathetic activity and may indicate an increased stress response. Although, current methods are often robust, require longer recording periods and are not entirely reliable. Therefore, a new method was developed in this study, focusing on the maximal intensity within the high-frequency band over time. Three analytical approaches were then applied: changes across the entire exposure period, changes within each film clip, and a ratio-based comparison before and during the most intense segment.

The results showed that 57,69 % of participants exhibited a decrease in HF-power over the entire exposure period. During the rape scene, HF-power decreased in 69,23 % of the participants, and 38,46 % in the murder scene. The ratio-based analysis further highlighted differences between stimuli.

The results indicate that the proposed method captures decreases in parasympathetic activity more clearly than current methods and shows potential for detecting rapid changes in HRV. Reduced parasympathetic activity was observed during emotional film stimuli. However, further improvements are required for future analyses.

I. INTRODUKTION

HJÄRTAT ansvarar för att pumpa blod genom kroppen via rytmiska kontraktioner. Från hjärtats aktivitet kan flera fysiologiska parametrar utvinnas, däribland variationen i tidsintervall mellan på varandra följande hjärtslag. Denna variation benämns hjärtfrekvensvariabilitet (HRV) [1].

A. Hjärtfrekvensvariabilitet - HRV

HRV har etablerats som en indikator på individens allmänna hälsa och används idag inom flera områden, bland annat inom träning och återhämtning [4], stressforskning samt studier av

olika sjukdomstillstånd [5]. Detta eftersom HRV har en direkt koppling till kroppens autonoma nervsystem.

Det autonoma nervsystemet består av det sympatiska (SNS) samt det parasympatiska nervsystemet (PNS). Psykologiska faktorer, såsom stress och emotionella tillstånd, har en direkt påverkan på det autonoma nervsystemets funktion, vilket i sin tur påverkar HRV.

Låg HRV har förknippats med ökad aktivitet i SNS och har visat samband med en rad negativa hälsoutfall, till exempel hjärt-kärlsjukdomar, förhöjd stressnivå, ångest och depression. Hög HRV är kopplat till ökad parasympatisk aktivitet [5]. Det innebär en mer reglerad emotionell respons, lägre nivåer av ångest [6], samt ett mer flexibelt autonomt nervsystem med hög anpassningsförmåga [5].

Den vanligaste metoden som används för att registrera HRV-signaler är elektrokardiografi (EKG). Utifrån EKG-signalen identifieras QRS-komplexen [1], där R-topparna används för att bestämma RR-intervall som i sin tur utgör grunden för HRV-signalen. EKG ger tydliga R-toppar eftersom hjärtats elektriska aktivitet mäts via elektroder placerade på bröstkorget [7].

B. Tidigare forskning

HRV analyseras i tidsdomän, frekvensdomän eller via icke-linjära metoder. Inom respektive analysdomän används olika mått för att beskriva variationen i signalen. Tidsdomänmått beskriver mängden variation i tiden mellan hjärtslag, medan frekvensdomänmått beskriver hur signalens energi (power) fördelas över olika frekvensband. Icke-linjära mått beskriver istället oförutsägbarheten i tidsserierna. De är dock känsliga för brus, korta inspelningar och ojämn signalkvalitet, vilket påverkar deras praktiska användning [1].

Måtten som erhålls inom de olika domänerna är kontextberoende och saknar ofta entydiga kopplingar till fysiologiska processer. Flera av måtten speglar både PNS och SNS, exempelvis frekvensdomänmåttet lågfrekvens (LF)-power och tidsdomänmåttet SDNN [1]. SDNN motsvarar standardavvikelsen för tiden mellan normala hjärtslag och LF-power utgör summan av signalenergin inom det lågfrekventa frekvensbandet (0,04-0,15 Hz). Högfrekvens (HF)-power utgör summan av signalenergin inom det högfrekventa frekvensbandet (0,15-0,4 Hz) och associeras främst med parasympatisk aktivitet som påverkas av både andning och stress. Detta innebär att HRV-mått sällan kan tolkas som direkta indikatorer på en enskild fysiologisk mekanism [1].

Vidare påverkas tillförlitligheten i måtten av mätförhållanden, där inspelningslängden är en central

Inlämnat den 10 juni 2026

Emailadress: {ag6032os-s@student.lu.se, al8134ha-s@student.lu.se}

Huvudhandledare: Maria Sandsten, Matematikcentrum, Lunds Universitet

Biträdande handledare: Mikael Johansson, Institutionen för Psykologi, Lunds Universitet

Utveckling av nya analysmetoder för HRV vid emotionella filmstimuli
Development of new HRV analysis methods for emotional film stimuli

faktor. Långtidsmätningar (24 timmars HRV) ger generellt mer stabila värden då de fångar variationer över flera tillstånd, något som använts för prediktion av hälsoutfall. Samtidigt innebär valet av inspelningslängd att olika aspekter av HRV fångas. Korttidsmätningar (mindre än 5 min) är bättre på att fånga högfrekventa komponenter, medan långtidsmätningar krävs för analys av lågfrekventa variationer [3]. Detta innebär att HRV-mått från olika inspelningslängd inte direkt är jämförbara och deras tillförlitlighet varierar beroende av inspelningslängden [1].

HRV-mått är också känsliga för artefakter, såsom felregistrering av extra slag [1], samt för yttre faktorer som kroppsställning vid inspelning, där liggande eller sittande position påverkar måtten. Dessutom har studier visat skillnader i HRV beroende på kön [7].

Utöver studier som utvärderar de olika måtten som används vid HRV-analys finns forskning kring HRV i kliniska tillämpningar, exempelvis inom posttraumatisk stressyndrom (PTSD). I en studie vid Psykologiska institutionen vid Lunds universitet undersöktes varför vissa utvecklar PTSD och andra inte [2]. Studien använde sig av en serie filmklipp som friska deltagare (utan tidigare traumaerfarenheter, psykisk ohälsa eller medicinering) exponerades för. Filmklipp bestod av emotionellt negativt innehåll (filmklipp som kan väcka starkt negativa känslor), växlat med emotionellt neutrala filmklipp (filmklipp utan känslomässig laddning), för att i efterhand studera påverkan av påträngande minnen. En del av studien innefattade mätning av hjärtfrekvens via EKG och analys av HRV, i syfte att undersöka om kroppens fysiologiska reaktioner kan förutsäga individens upplevelser och framtida påverkan.

Analysmetoderna som användes i studien omfattade både tidsdomän- och frekvensdomänmått, beräknade över de 9 minuter långa filmklipp. Tidsdomänmått inkluderade SDNN, RMSSD och pNN50, vilket användes som mått på generell HRV och parasympatisk aktivitet [2]. RMSSD (Root mean square of successive differences) anger variationen mellan efterföljande hjärtslag, medan pNN50 anger andelen intilliggande normala hjärtslagsintervall som skiljer sig åt mer än 50 millisekunder (ms) [1]. Frekvensdomänmått i studien inkluderade LF-power, HF-power samt LF/HF-ratio, vilka användes för att representera autonoma nervsystemets reglering [2].

I studien var det dock medelhjärtfrekvensen över filmklipp som gav tydliga resultat, medan HRV-analysen inte visade någon signifikant skillnad mellan de emotionellt negativa filmklipp och emotionellt neutrala filmklipp. I studien diskuteras möjliga förklaringar till detta, såsom att kontrollscenerna, i form av neutrala filmklipp, inte var ett tillräckligt bra jämförelsemått eller att metodiska begränsningar påverkade resultaten [2].

Som tidigare nämnts är några av måtten som använts i studien beroende av inspelningslängd och påverkas ofta av flera fysiologiska processer. SDNN fungerar bäst på 24-timmars tidsintervall och LF-power motsvarar både SNS och PNS, vilket även gör LF/HF-ratio till ett osäkert mått på balansen mellan systemen [1]. Vid frekvensdomänanalyserna i studien användes även snabb fouriertransform (FFT) vilket är en vanlig metod som dock är känslig för sina inställningar

[2], [8]. Metoden är särskilt känslig för fönsterlängden, det vill säga hur långt tidsintervall analysen baseras på. En längre fönsterlängd ger bättre frekvensupplösning och möjliggör analys av lågfrekventa variationer, medan kortare fönster är bättre på att beskriva snabba förändringar (högfrekventa variationer) i signalen [8].

Andra studier inom psykologiska processer såsom stress, emotionell reglering och PTSD visar dock på tydligare kopplingar till HRV, till skillnad från studien på Lunds universitet. Forskning har exempelvis visat att korttidsmått av HRV, såsom RMSSD och HF-power, är reducerade hos personer med depression, ångestsyndrom samt PTSD. Vidare redogörs att HRV, som mått på kroppens autonoma flexibilitet och därmed förmåga till stresshantering och emotionell reglering, påverkas av i vilket tillstånd det mäts. En skillnad görs mellan HRV mätt i vila och HRV mätt vid en förändring i samband med en händelse eller stress. Vid vila visar studier bland annat att högre HF-power korrelerar med upplevelse av positiva emotionella tillstånd, medan att låg HRV innebär sämre emotionell reglering. Samtidigt är de fysiologiska mekanismerna bakom dessa samband ännu inte helt kända [3].

Ytterligare en komplexitet rör HRV i samband med stress eller specifika händelser. Detta område är mindre utforskat, men anses vara viktigt för förståelsen av hälsa och välbefinnande. Forskning visar att både ökning och minskningar i HRV kan vara gynnsamma beroende på situationen. En ökning i HRV kan indikera ökad uppmärksamhet och självreglering av stress och emotionella reaktioner, medan en minskning kan spegla en fysiologisk anpassning i form av aktivering inför stress (fight-or-flight-respons). Detta understryker komplexiteten i tolkningen av HRV och betonar vikten av att studera HRV i vila, under stress och vid återhämtning för att bättre förstå individuella skillnader i autonom reglering och dess koppling till psykologiska processer [3].

C. Syfte med studie

Det är tydligt att det finns begränsningar och flera känsliga aspekter som påverkar befintliga analysmetoder för HRV. Samtidigt visar tidigare forskning att HRV kan bidra med viktig information om hälsa och välbefinnande, där ett mindre utforskat område är HRV mätt vid snabba förändringarna under stress. Genom att ta del av tidigare insamlad EKG-data i studien vid Lunds universitet [2], där deltagarna fick ta del av filmklipp med både negativ och neutral emotionell valens, gavs möjlighet att både utveckla nya analysmetoder och närmare studera HRV.

Syftet med denna studie är därför att ta fram nya analysmetoder av HRV, jämföra de med en redan befintlig analysmetod och tillämpa metoderna för undersökning om förändringar i HRV kan spegla emotionella tillstånd och reaktioner ur filmklipp. För att undersöka detta är rapporten strukturerad enligt följande. Inledningsvis introduceras begreppet HRV samt tidigare forskning inom området. Därefter presenteras metodavsnittet, där den utvecklade analysmetoden beskrivs. Vidare redovisas studiens resultat, följt av en diskussion där resultaten tolkas och metodens begränsningar belyses.

II. METOD

A. Upplägg av studie

Denna studie baseras på samma datamaterial som för forskningsprojektet vid Psykologiska institutionen på Lunds universitet [2]. EKG registrerades under totalt 50 minuter från 32 friska deltagare i samband med exponering för fyra filmklipp, vardera ca 9 minuter långa. Filmklippen omfattade en filmatiserad våldtäktsscen ("våldtäkt"), en filmatiserad mordscen ("mord"), en helt neutral scen ("paterson") samt en neutral scen utan negativ emotionell valens, men med samma karaktärer som i våldtäkts- och mordscenerna ("metro"). Filmklippen spelades upp i slumpmässig ordning för deltagarna, men ofta visades en av de neutrala filmklippen först och ett filmklipp med negativ emotionell valens sist.

Efter exponeringen identifierade deltagarna de två mest intensiva/läskiga minuterna i våldtäkts- respektive mordscenen. Ett medelvärde av tiderna för dessa angivelser beräknades och användes för att definiera de så kallade hotspotsen för respektive scen.

Sex deltagare exkluderades från analysen på grund av tekniska fel och otillräcklig signalkvalitet. I rapporten benämns deltagarna för den nummerordning de deltog i. Samtliga metoder har genomförts i MATLAB. Efter inläsning av data omvandlades EKG-signalerna till tidsdomän med utgångspunkt i den samplingsfrekvens som användes vid mätningarna (2000 Hz).

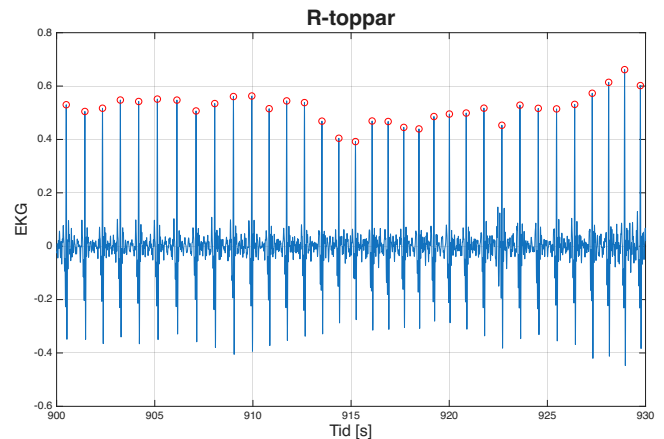
B. Toppdetektion av elektrokardiografi

För vissa signaler var kvaliteten tillräckligt hög för att möjliggöra direkt analys utan föregående filtrering. För majoriteten av signalerna applicerades dock ett bandpassfilter i syfte att isolera de frekvenskomponenter som motsvarar QRS-komplexet, det vill säga låga frekvenser. Mer specifikt tillåter bandpassfiltret som användes frekvenser mellan 5 och 20 Hz att passera, medan resterande frekvenser blockeras. Filtringen resulterade i reducerat brus och förbättrad signalkvalitet. I samtliga figurer som illustreras i metodavsnittet har ett bandpassfilter applicerats på signalen.

För identifiering av R-toppar användes inbyggda MATLAB-funktioner i kombination med en percentilbaserad tröskelmetod (figur 1). Denna metod innebär att tröskelvärdet bestäms utifrån en vald percentil av signalens amplitudfördelning, där samtliga datapunkter först sorteras i stigande ordning. Därefter fastställs ett tröskelvärdet så att en definierad andel av datapunkterna understiger denna nivå. Tröskeln används sedan som amplitudkriterium vid toppdetektering, där endast lokala maxima som överstiger tröskelvärdet klassificeras som R-toppar.

För att erhålla en lägre och mer tolerant tröskel, i syfte att minimera risken att relevanta R-toppar missas, infördes en skalfaktor i den percentilbaserade tröskelmetoden. Utöver amplitudtröskeln implementerades även ett tidsbaserat tröskelvärdet för att ytterligare begränsa felaktiga detekteringar. Detta gränsvärde fastställdes utifrån antagandet att deltagarnas hjärtfrekvens med hög sannolikhet inte överstiger 200 slag per minut (bpm). I detta projekt analyserades varje EKG-signal

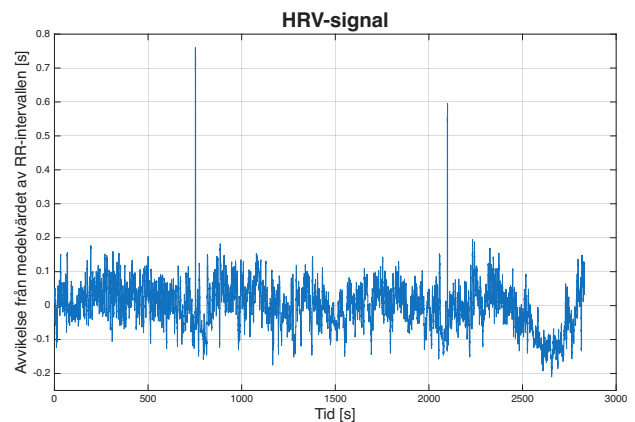
med varierande percentilvärden och skalfaktorer i syfte att optimera toppdetektionen för respektive signal.



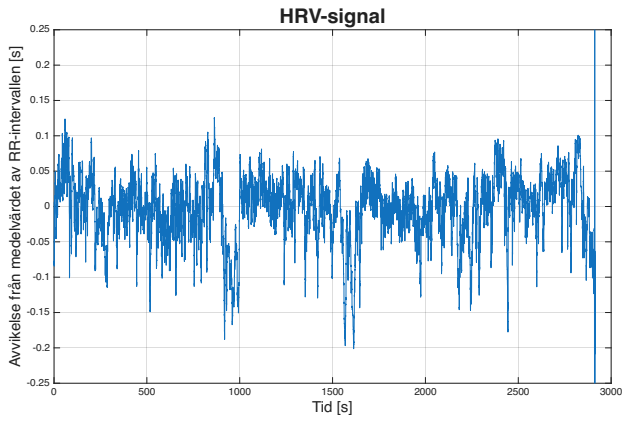
Figur 1. EKG-signal som funktion av tid (sekunder). Figuren är inzoomad och redovisar uttagna R-toppar som röda prickar ur ett 30 sekunder långt tidsintervall. Detta är ett exempel från deltagare 32.

C. Framtagning av HRV-signal

Efter detektering av R-toppar beräknades RR-intervallen som tidsdifferensen mellan topparna. Signalen samplades ned till 4 Hz för att generera HRV-kurvan (figur 2 och figur 3). Nedsamlingen motiverades av att HRV huvudsakligen innehåller lågfrekventa komponenter och inte kräver samma höga samplingsfrekvens som den ursprungliga EKG-signalen. Detta resulterade i en mindre brusig signal och möjliggjorde analys i det relevanta frekvensområdet.

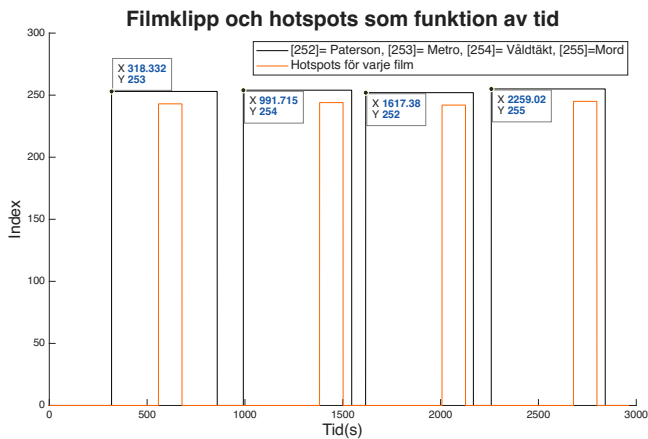


Figur 2. HRV-signal för deltagare 4. Y-axeln visar RR-intervallens avvikelse från respektive deltagares medelvärde, uttryckt i sekunder.



Figur 3. HRV-signal för deltagare 32. Y-axeln visar RR-intervallens avvikelse från respektive deltagares medelvärde, uttryckt i sekunder.

I detta steg visualiserades även filmklipp och hotspots som funktion av tid, där tidsaxeln representerades på x-axeln och respektive filmsekvens angavs med ett index på y-axeln (figur 4). Denna metod användes i majoriteten av efterföljande analyser och figurer för att underlätta identifiering och jämförelse av specifika tidsperioder i relation till de fysiologiska signalerna.



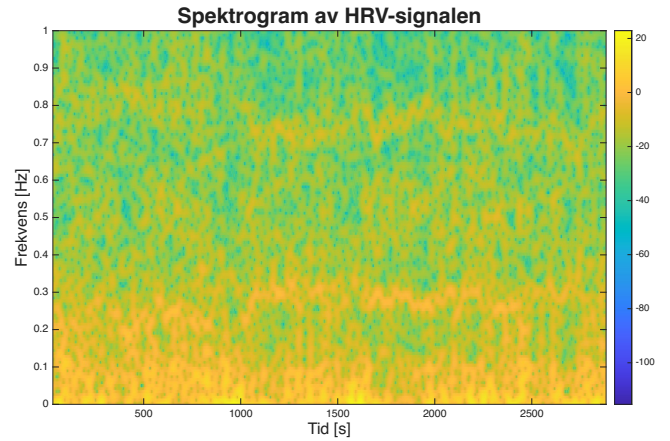
Figur 4. Figuren visar ett exempel på under vilka tidsperioder de fyra filmklippen samt tillhörande hotspots pågår. Bredden på staplarna motsvarar tiden de spelas upp. Staplarna är dessutom olika höga och representeras därmed av olika index ($y = 252, 253, 254, 255$), som i sin tur motsvarar de olika filmklippen. Detta är ett exempel på uppspelningsordning för deltagare 32.

D. Spektrogram

Efter att HRV-signalen tagits fram transformerades den från tidsdomän till frekvensdomän med hjälp av snabb Fouriertransform (FFT), vilket möjliggjorde analys av signalens frekvensinnehåll.

Vidare beräknades ett spektrogram genom att applicera FFT på överlappande tidssegment av HRV-signalen. Spektrogrammet visualiserar hur stark intensiteten, mätt i decibel (dB), är i varje tidsperiod för samtliga frekvenser (figur 5). I framtagningen av spektrogrammet användes en fönsterlängd på 256 sampel (motsvarande 64 sekunder), med ett överlapp på 255 sampel samt 512 punkter i FFT:n. De efterföljande

analyserna, inklusive figurer, mått och parametrar, baserades på spektrogrammet, vilket i sig matematiskt representeras som en matris av spektrala värden.

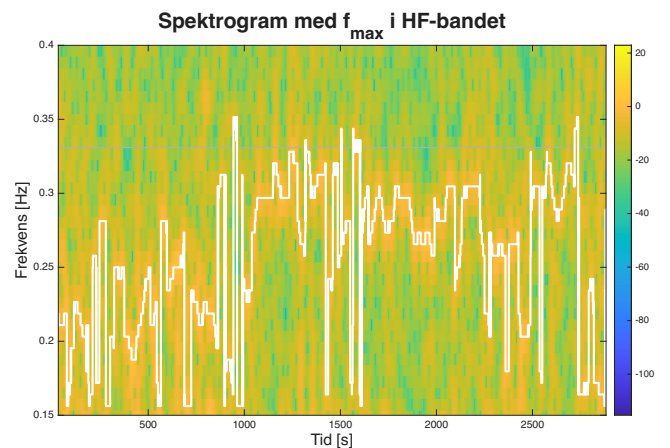


Figur 5. Figuren visar ett spektrogram för en HRV-signal. X-axeln representerar tid (sekunder), medan y-axeln visar frekvensinnehållet. Färgskalan anger signalens intensitet vid respektive frekvens och tidpunkt, uttryckt i dB. Detta är ett exempel från deltagare 32.

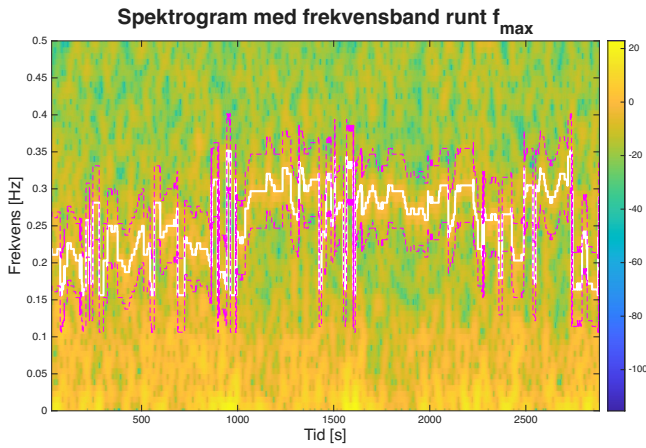
E. HF-power

När samtliga spektrogram tagits fram var målet att extrahera ett nytt mått baserat på HF-power. Detta eftersom HF-power är av särskilt intresse då det i hög grad speglar parasymptisk aktivitet och därmed möjliggör vidare fysiologisk tolkning. Den nya metoden som togs fram identifierar den maximala intensiteten inom HF-bandet för varje tidpunkt (figur 6).

Därefter definierades ett smalt frekvensband kring den identifierade frekvensen med maximal intensitet. Ett intervall om ± 0.05 Hz kring den maximala frekvensen applicerades (figur 7).

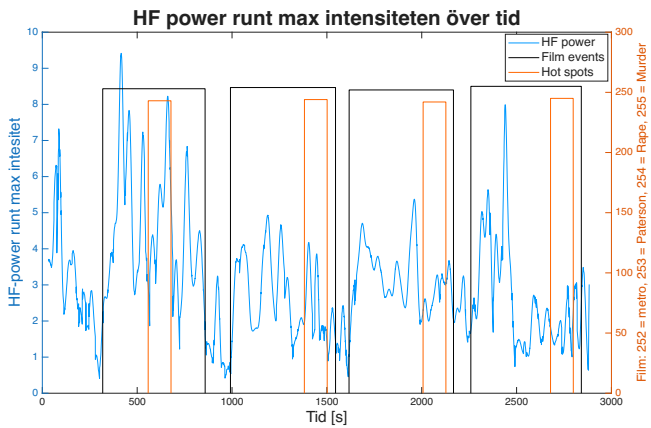


Figur 6. Spektrogram av HRV-signalen där den frekvens inom HF-bandet (0.15-0.4 Hz) som uppvisar maximal intensitet vid varje tidpunkt markerats med en vit kurva. Figuren illustrerar hur den dominerande högfrekventa komponenten varierar över tid (sekunder). Detta är ett exempel från deltagare 32.



Figur 7. Figuren visar inom vilket område intensiteten väljs ut. Den vita kurvan visar frekvensen med maximal intensitet inom HF-bandet, medan det rosa området anger intervallet om ± 0.05 Hz kring denna frekvens. Detta är ett exempel från deltagare 32.

Utifrån detta summerades den totala intensiteten inom det applicerade frekvensbandet för varje tidpunkt. Detta resulterade i en graf för HF-power kring maxintensiteten över tid (figur 8).



Figur 8. HF-power beräknad i ett högfrekvensband kring den maximala intensiteten som funktion av tid, tillsammans med tidsperioder för exponering av filmklipp samt dess tillhörande hotspots. Detta är ett exempel från deltagare 32.

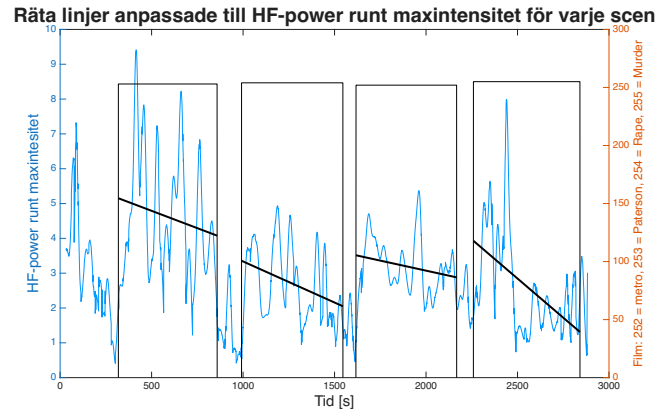
F. Analysmetoder

När HF-power, beräknad kring den maximala intensiteten, hade bestämts för samtliga deltagare användes två olika metoder för att analysera och jämföra resultaten.

1) Analys av tidsmässig förändring av HF-power

Medelvärdet av HF-power kring maxintensiteten beräknades för det första respektive sista filmklippet. Därefter beräknades differensen mellan dem för att analysera eventuella förändringar över tid för samtliga deltagare.

Vidare anpassades en linjär modell till förändringen av HF-power kring maxintensiteten för varje enskilt filmklipp (figur 9). De räta linjerna visualiserades med dess lutningar som ett resultat i gemensamma figurer för att underlätta jämförelse av förändringsmönster mellan deltagarna.



Figur 9. HF-power kring maxintensiteten med anpassade räta linjer som visar förändringen av HF-power över varje filmklipp. Detta är ett exempel från deltagare 32.

2) Kvotbaserad analys före och under hotspot

Medelvärdet av HF-power beräknades dels för en tvåminutersperiod före respektive hotspot, dels för de två minuter då hotspoten var aktiv. Analysen begränsades till våldtäktsscenen (index 254) och mordscenen (index 255). Därefter beräknades kvoten mellan medelvärdena under och före hotspoten, det vill säga $\overline{HF}_{\text{hotspot}}$ och $\overline{HF}_{\text{före}}$. Kvoten utgör ett normaliserat mått som möjliggör jämförelse mellan deltagarna. De erhållna värdena visualiserades därefter i resultatdelen i en graf för att analysera hur förändringen i HF-power mellan perioderna före och under hotspots fördelades mellan deltagarna.

G. Jämförelse med befintlig metod

För jämförelse mellan den nyframtagna metoden och befintlig metod utfördes samma beräkningar som i de två analysmetoderna, med skillnaden att de istället baserades på hela HF-bandet snarare än maxintensiteten. Sedan togs en procentuell medelskillnad av resultaten fram.

H. Utforskade men ej vidare använda metoder

Flera analysmetoder utvecklades och utvärderades initialt, men inkluderades inte i den slutgiltiga analysen. Dels beräknades LF-power inom LF-bandet (0.04-0.15 Hz), dels kvoten mellan LF- och HF-power. Baserat på dessa mått utvärderades även en metod där den normaliserade HF-powern beräknades. Beräkningen utfördes genom att HF-power dividerades med summan av LF- och HF-power, följt av multiplikation med 100 för att uttryckas i procent.

Utöver frekvensdomänmått beräknades även tidsdomänparametrar, såsom RMSSD och SDNN, för respektive scen. RMSSD definieras som roten ur medelvärdet av kvadrerade differenser mellan RR-intervall, medan SDNN beräknades som standardavvikelsen av RR-intervallet.

III. RESULTAT

A. Resultat av tidsmässig förändring av HF-power

Från analysen beräknades den tidsmässiga förändringen av HF-power kring maxintensiteten som skillnaden mellan HF-power i första och sista filmklippet för samtliga deltagare.

Beräkningen gjordes med både HF-power över hela HF-bandet ("HF-power") samt HF-power kring maxintensiteten ("HF-power kring max")(tabell I).

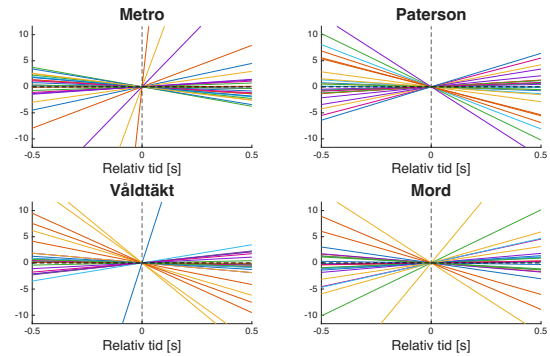
Tabell I
SKILLNADEN MELLAN HF-POWER I DET FÖRSTA RESPEKTIVE SISTA
UPPSPELADE FILMKLIPPET FÖR SAMTLIGA DELTAGARE

Deltagare	Skillnad HF-power kring max	Skillnad HF-power
1	0.0046	0.0818
3	-9.7341	-8.8697
4	5.8944	2.4549
6	3.7694	5.9892
7	-22.7655	-30.5991
8	2.0420	2.9600
10	-0.2699	0.2853
11	-0.8432	-1.3239
12	-15.3137	-22.6530
13	-23.7531	-24.0644
14	0.5426	2.4539
16	-1.5840	-3.0054
17	1.7504	1.8746
18	2.7998	4.2581
19	24.5268	53.8756
21	2.2727	4.0877
22	3.2449	4.3545
24	1.1770	6.8676
25	-0.0491	0.2537
26	-3.6848	-4.0423
27	-0.0901	1.5942
28	-6.1975	-11.0406
29	-0.2699	0.2853
30	-1.7283	-1.2202
31	-25.0026	-38.6895
32	-1.9945	-2.2564
Totala minskningar	15 av 26	11 av 26

Drygt hälften, 15 av 26 deltagare (57,69 %), uppvisade en minskning i HF-power kring maxintensiteten. Motsvarande analys baserad på HF-power över hela HF-bandet (befintlig analysmetod) visade en minskning hos 11 av 26 deltagare (42,31 %).

Vidare beräknades förändringen i HF-power kring maxintensiteten inom varje scen, från början till slut (figur 10). HF-power kring maxintensiteten minskade hos 18 av 26 deltagare (69,23 %) under våldtäktsscenen, minskade hos 10 av 26 deltagare (38,46 %) i mordscenen, samt minskade hos 14 av 26 deltagare (53,85 %) under både metro- och patersonscenen.

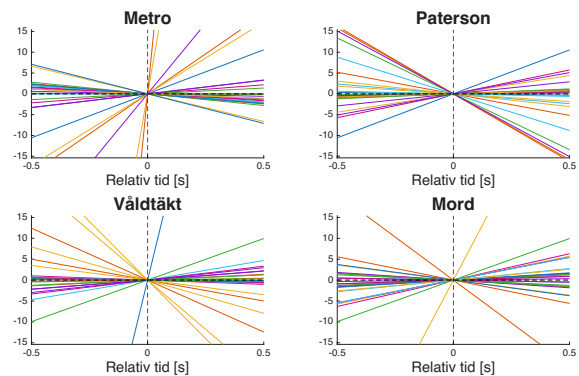
Lutningar anpassade till HF-power kring maxintensiteten för samtliga deltagare



Figur 10. Sammanställning av lutningarna för linjära anpassningar av HF-power kring maximal intensitet, för samtliga deltagare under respektive filmklipp. X-axeln visar relativ tid, där -0.05 motsvarar början och 0.05 slutet av filmklippet. Negativ lutning innebär en minskning i HF-power kring maxintensiteten, positiv lutning innebär motsatt förhållande.

När samma beräkningar genomfördes med HF-power över hela HF-bandet (figur 11) erhöles istället att 15 av 26 deltagare (57,69 %) hade en minskning i både våldtäktsscenen och metroscenen. 10 av 26 deltagare (38,46 %) hade en minskning under mordscenen och 11 av 26 (42,31 %) hade en minskning under paterson.

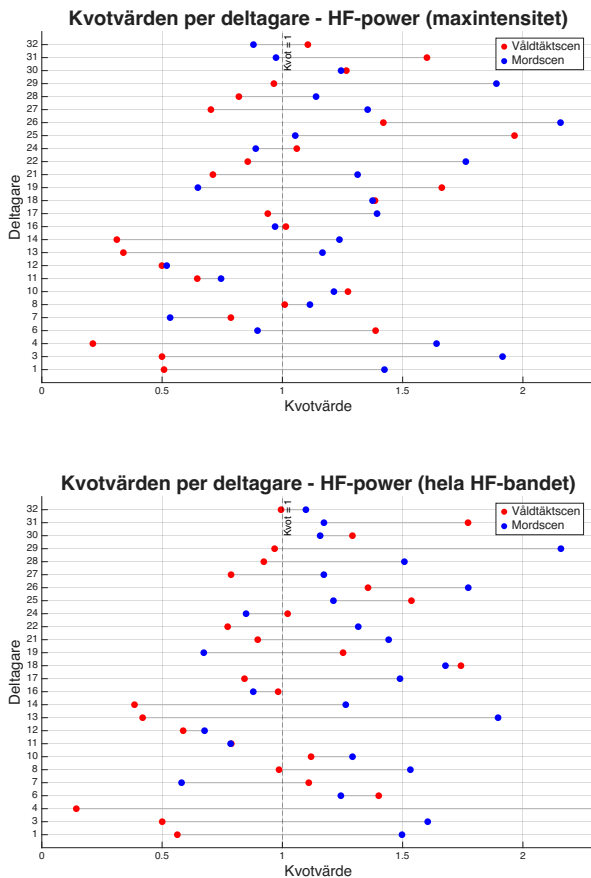
Lutningar anpassade till HF-power (hela HF-bandet) för samtliga deltagare



Figur 11. Sammanställning av lutningarna för linjära anpassningar av HF-power över hela HF-bandet, för samtliga deltagare under respektive filmklipp. X-axeln visar relativ tid, där -0.05 motsvarar början och 0.05 slutet av filmklippet. Negativ lutning innebär en minskning i HF-power, positiv lutning innebär motsatt förhållande.

B. Resultat av kvotbaserad analys före och under hotspot

I den kvotbaserade analysen av HF-power kring maxintensiteten samt över hela HF-bandet, före och under hotspot presenteras kvoterna för mordscenen och våldtäktsscenen för varje deltagare (figur 12). För HF-power kring maxintensiteten har 9 av 26 deltagare (34,62 %) kvoten för mordscenen under 1 och 14 av 26 (53,85 %) har kvoten för våldtäktsscenen under 1. För HF-power över hela HF-bandet gav analysen att 7 av 26 deltagare (26,92 %) hade kvot under 1 för mordscenen och 15 av 26 deltagare (57,69 %) för våldtäktsscenen.



Figur 12. Kvoter mellan medelvärde av HF-power före och under hotspot ($HF_{\text{hotspot}} / HF_{\text{före}}$) för samtliga deltagare. Blå markörer representerar mordscenen och röda markörer våldtäktscenen. Kvoter mindre än 1 innebär att HF-power är större i perioden före hotspoten än under, vilket motsvarar en minskning av HF-power. Kvoter större än 1 innebär motsatt förhållande, alltså ökning i HF-power.

C. Sammanställning av resultat

En sammanställning gjordes av den procentuella andelen minskningar av HF-power kring maxintensiteten samt HF-power över hela HF-bandet, baserat på både den tidsmässiga förändringen och den kvotbaserade analysen (tabell II). Den procentuella medelskillnaden mellan metoden för maxintensitet jämfört och befintlig analysmetod (hela HF-bandet) blev 7,69 %.

Tabell II

SAMMANSTÄLLNING AV DEN PROCENTUELLA ANDELEN MINSKNINGAR AV HF-POWER FRÅN FÖRSTA TILL SISTA SCEN, INOM SCENERNA OCH FRÅN INNAN TILL UNDER HOTSPOT

Resultat (minskningar)	HF (maxintensitet)	HF (hela bandet)
Första till sista scen	57,69 %	42,31 %
Mordscen	38,46 %	38,46 %
Våldtäktscen	69,23 %	57,69 %
Metroscen	53,85 %	57,69 %
Patersonscen	53,85 %	42,31 %
Före till under hotspot - mordscen	34,62 %	26,92 %
Före till under hotspot - våldtäktscen	53,85 %	57,69 %

IV. DISKUSSION

Resultaten inkluderade bland annat en jämförelse mellan den första och sista scenen där resultatet visade att 57,69 % av deltagarna uppvisade en minskning av HF-power kring maxintensiteten.

Låg HF-power, och därmed minskningen, är associerad med reducerad parasympatisk aktivitet och kan i vissa sammanhang indikera en ökad stressrespons. Den observerade minskningen i HF-power över hela exponeringstiden kan således tolkas som en förändring i den autonoma regleringen, präglad av en minskad parasympatisk aktivitet och en möjlig ökning i fysiologisk aktivering. Den första scenen var dock ofta neutral, medan den sista scenen ofta hade negativ emotionell valens. Denna sekventiella exponering kan ha förstärkt den observerade minskningen och därmed bidragit till resultatet. För att reducera påverkan av denna potentiella ordningseffekt genomfördes därför en mer detaljerad analys av förändringen i HF-power inom varje enskild scen.

Från resultatet av förändringarna inom varje scen (figur 10) erhöles att 69,23 % av deltagarna uppvisade en minskning av HF-power kring maxintensiteten under våldtäktsscenen, medan motsvarande andel för mordscenen var 38,46 %. Detta indikerar att de två negativt emotionella stimuli framkallade olika fysiologiska responser, där våldtäktsscenen i större utsträckning var associerad med minskad parasympatisk aktivitet och eventuellt ökad stressrespons.

En möjlig förklaring till att minskningen var mer förekommande under våldtäktsscenen jämfört med mordscenen är skillnader i uppbyggnad av filmklippen. Mordscenerna kännetecknades av en genomgående hög intensitet, med inslag av kaotiska sekvenser redan från början. Våldtäktsscenen uppvisade däremot en mer gradvis uppbyggnad, med lägre intensitet i början och en successiv ökning av emotionell stimuli. Denna skillnad kan ha medfört att minskningen i HF-power blev mer framträdande under våldtäktsscenen, då den fysiologiska responsen utvecklades över tid, snarare än att vara relativt konstant som i mordscenen.

För de neutrala filmklippen observerades en minskning i HF-power hos 53,85 % av deltagarna, vilket tyder på att en viss minskning i parasympatisk aktivitet även kan förekomma i frånvaro av emotionella stimuli. Det kan bero på att det kan finnas en viss förväntan och oro inför potentiellt obehagliga scener, trots att sådana inte inträffar, vilket i sin tur kan bidra till den observerade minskningen. De neutrala filmklippen representerar alltså inte nödvändigtvis ett neutralt fysiologiskt tillstånd. Det innebär att HF-power under de filmklippen inte kan betraktas som en stabil referensnivå eller baslinje för jämförelse mot de med negativ emotionell valens. För att möjliggöra en mer tillförlitlig tolkning hade det varit önskvärt med ett mer kompletterande baslinjemått, uppmätt under längre tid innan utförandet av experimentet. Det hade möjliggjort en mer exakt kvantifiering av avvikelser i HRV och jämförelse mellan HRV i vila och under stress.

Det framkom att flera deltagare uppvisade förhöjda nivåer av HF-power i början av respektive filmklipp. För att erhålla en mer representativ baslinje inför jämförelse med respektive hotspots valdes därför ett analysfönster omfattande två minuter

före hotspoten. Denna metod syftade till att minimera påverkan från initiala responser och istället fokusera på den fysiologiska förändringen i anslutning till de mest emotionellt intensiva delarna av stimuli (hotspots). Därmed togs ett kvotbaserat resultat fram, före och under hotspot för våldtäkts- och mordscenen. Resultatet visade att HF-power kring maxintensiteten var högre före än under hotspot i mordscenen för 34,62 % av deltagarna, och för våldtäktscenen 53,85 % av deltagarna. Detta stämmer överens med resultatet av förändringen inom scenerna, vilket tyder på att minskningen i HF-power är mer uttalad under våldtäktscenen. Att båda analysmetoderna visar liknande resultat stärker även metodernas tillförlitlighet.

Valet att utveckla metoder baserade på HF-power motive-rades då detta mått i stor utsträckning speglar parasympatisk aktivitet. Metoder som till exempel inkluderande LF-power togs också fram. Som det beskrivs i bakgrunden reflekterar detta mått dock både sympatisk och parasympatisk aktivitet och bedöms som mer komplext att tolka. Då befintliga analysmetoder baserade på HF-power ofta är robusta och använder bredare frekvensinnehåll ansågs det rimligt att vidareutveckla denna metod. Ytterligare motivering till att vidareutveckla metoden är att tydliga skillnader syns då resultaten från HF-power kring maxintensitet jämfördes mot befintlig analysmetod för HF-power över hela HF-bandet. Att metoderna ger olika resultat visar på att det finns en skillnad som därmed är rimlig att utforska vidare. Resultaten mellan metoderna skiljer sig i genomsnitt med 7,69 %, där tre av sju metoder ger en skillnad på över 11 % baserat på tabell II.

En begränsning med den valda metoden är att HF-power är starkt kopplat till andningsmönster, där förändringar i andning inte nödvändigtvis speglar förändringar i parasympatisk aktivitet. Eftersom andning inte registrerades under mätningen var det inte möjligt att kontrollera denna påverkan. Detta bör beaktas i tolkningen av resultaten och kan utgöra en viktig aspekt i framtida studier.

Mätförhållandena var inte heller optimala, då faktorer såsom kroppsställning och kön kan påverka HRV. Information om kön hade till exempel kunnat bidra till en djupare förståelse av variationerna. Slutligen exkluderades vissa mätningar på grund av otillräcklig signalkvalitet eller tekniska fel, vilket kan ha påverkat studiens resultat då ett större antal deltagare med hög signalkvalitet sannolikt hade bidragit till ökad tillförlitlighet.

Gällande etik finns det flera relevanta aspekter att beakta. En central etisk princip är att forskningsmetoder inte ska medföra risk för deltagarna. Under datainsamlingen från studien vid psykologiska institutionen vid Lunds universitet exponerades deltagarna dock för emotionellt belastande stimuli, vilket kan innebära psykisk påverkan. Ingen sådan påverkan rapporterades dock vid uppföljning. Studien genomfördes även med in-formerat samtycke där deltagarna var medvetna om upplägget och studien var godkänd av etikprövningsmyndigheten (referensnummer 2022-05425-01) [2]. Vidare har integritet och dataskydd beaktats genom att den EKG-data som analyserats har varit anonymiserad och endast tillgänglig för forskningsgruppen.

Utifrån ett hållbarhetsperspektiv kan studien kopplas till Agenda 2030 mål 3, god hälsa och välbefinnande, som handlar

om att säkerställa ett hälsosammare liv och bland annat omfattar bekämpning av sjukdomar och psykisk ohälsa [9]. Studien bidrar till forskning om stressrelaterade tillstånd som därmed blir direkt applicerbart på målet. Dessutom kan metoderna eventuellt tillämpas inom andra områden, exempelvis medicinsk forskning.

V. SLUTSATSER

Den framtagna metoden, baserad på analys av maximal intensitet inom HF-bandet, påvisade skillnader jämfört med befintliga analysmetoder där antalet personer som upplever en minskning i parasympatisk aktivitet skiljer sig från befintliga metoder. I förlängningen kan denna ökade känslighet utnyttjas för forskning kring snabba förändringar av HRV snarare än långtidsmätningar. Dessutom identifieras interna resultat som stödjer metodens tillförlitlighet. Den nya analysmetoden visar att förändringar i HRV kan spegla emotionella tillstånd, bland annat en minskning i parasympatisk aktivitet vid exponering för filmstimuli, främst under våldtäktsscenen. Vidare krävs en mer robust baslinjemätning, större datamängd samt mätning av andning för förbättrad analys.

VI. EFTERORD

Vi vill rikta ett stort tack till projektets tekniska handledare, Maria Sandsten, för det fantastiska stöd vi har fått genom hela arbetet. Vi vill även tacka Mikael Johansson och Linn Petersdotter för gott samarbete samt för möjligheten att genomföra detta projekt. Vi, Alma och Agnes, har arbetat gemensamt genom hela projektets gång. Detta innefattar idéutveckling, framtagning och utvärdering av analysmetoder, testning av alternativa metoder samt rapportskrivning. Vi tar med oss både nya kunskaper och erfarenheter från projektet, och är mycket nöjda med såväl det tilldelade ämnet som resultaten av den metodutveckling som genomförts. Tack!

REFERENSER

- [1] R. Tiwari, R. Kumar, S. Malik, T. Raj and P. Kumar, "Analysis of Heart Rate Variability and Implication of Different Factors on Heart Rate Variability", *Current Cardiology Reviews*, vol. 17, nr. 5, 2021.
- [2] L. Petersdotter, L. Miller, M. Johansson and Å. Hammar, "Trauma-analogue symptom variability predicted by inhibitory control and peritraumatic heart rate", *Scientific Reports*, vol. 15, 2025.
- [3] T. Pham, Z.J. Lau, S.H.A. Chen and D. Makowski. "Heart Rate Variability in Psychology: A Review of HRV Indices and an Analysis Tutorial", *Frontiers in Psychology*, vol. 12, 2021.
- [4] J.S. Addleman, N.S. Lackey, J.A. DeBlauw, A.G. Hajduczuk, "Heart Rate Variability Applications in Strength and Conditioning: A Narrative Review", *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, vol. 9, nr. 2, 2024.
- [5] Z. Wang m.fl., "Heart rate variability in mental disorders: an umbrella review of meta-analyses", *Translational Psychiatry*, vol. 15, 2025.
- [6] M. Mather, J. Thayer, "How heart rate variability affects emotion regulation brain networks", *Current opinion in behavioral sciences*, vol. 19, ss. 98-104, 2018.
- [7] A. Coste, G. Millour, C. Hausswirth, "A Comparative Study Between ECG- and PPG-Based Heart Rate Sensors for Heart Rate Variability Measurements: Influence of Body Position, Duration, Sex, and Age", *Sensors*, vol. 25, nr. 18, 2025.
- [8] K. Li, H. Rüdiger, T. Ziemssen, "Spectral Analysis of Heart Rate Variability: Time Window Matters", *Frontiers in Neurology*, vol. 10, 2019.
- [9] Globala målen, "mål 3: god hälsa och välbefinnande", 2024. [Online]. Tillgänglig: <https://globalamalen.se/om-globala-malen/mal-3-halsa-och-valbefinnande/> (hämtad 2026-05-11)