

Analys av kollisioner vid hockeyspel med hjärnskakning som utfall

Johan Davidsson¹, Staffan Björkdahl¹, Kristian Ivancic¹, Yelverton Tegner²,
Kaj Blennow³, Henrik Zetterberg³ och
Helena Stigson^{4,5}

2020

1. Vehicle Safety, Department of Mechanics and Maritime Sciences, Chalmers University of Technology, SE-412 96, Gothenburg, Sweden.
2. Division of Medical Sciences, Department of Health Science, Luleå University of Technology, Luleå, Sweden.
3. Department of Psychiatry & Neurochemistry, Institute of Neuroscience & Physiology, the Sahlgrenska Academy at the University of Gothenburg & Clinical Neurochemistry Laboratory, Sahlgrenska University Hospital, Mölndal, Sweden.
4. Folksam Research, Folksam Insurance Group, Stockholm, Sweden.
5. Division of Insurance Medicine, Karolinska Institutet, Stockholm, Sweden.

Introduktion

Antalet hjärnskakningar inom svenska hockeyligan, SHL, ökar. Många spelare tvingas till långa uppehåll och allt fler spelare tvingas avsluta sina karriärer inom hockey på grund av komplikationer som härstammar från hjärnskakningar som uppstått i samband med kollisioner under matchsituationer. I den här rapporten redovisas utveckling av ett analysverktyg och en analys av kollisioner mellan hockeyspelare alternativt mellan hockeyspelare och andra objekt som medför våld mot huvudet. Arbete syftar till att öka förståelsen kring uppkomst av hjärnskakning under hockeymatcher med förhoppning om att detta leder till det långsiktiga målet att förebygga hjärnskakningar.

Analysverktygets utformning är inspirerad av Heads-up checklist (HUC) (Hutchisons et al. 2015), som avser att med hjälp av formaliserad analys av bilder/filmer från matchsituationer med kollisioner koda de situationer som leder till hjärnskakningar för att på så sätt belysa farliga situationer. En litteratursökning gav att inget liknande analysverktyg har presenterats förutom det som presenterats av Hutchisons et al. (2015). Däremot förekommer det flera formulär med vilka den skadade spelarens symptombild direkt efter skadetillfället kartläggs.

En del av det planerade arbetet går ut på att rekonstruera kollisionerna under matchsituationerna så att våldet mot huvudet kan uppskattas i detalj. Liknande rekonstruktioner har utförts för att öka förståelsen av kollisioner mellan fordon och fotgängare/cyklister/mopedister. Dessa har utförts med kombinationer av olycksrekonstruktionsprogram, stelkroppsm modeller och finita element modeller av parterna. Underlag för dessa rekonstruktioner har varit filmer från kameror som fångat olycksförloppet, dvs dessa kameror är placerade i närheten av olycksplatsen, vägens utformning,

bromsspår, fordonens positioner efter krocken, vittnesuppgifter, data på de inblandade fordonens styvheter mm. Då denna form av rekonstruktion är mycket tidskrävande kommer en metod att testas där kollisionerna under matchsituationerna simuleras med geometriska modeller i Matlab; här kommer filmanalyserna ge indata till simuleringar där kropparnas, då framför allt överkropparnas och huvudenas, position i rummen beskrivs. Kontakten mellan de drabbade och opponenterna blir då tydliggjorda och resultaten kan utgöra underlag i avancerade simuleringar av interaktion mellan de två spelarna under kollisionen.

I ett parallellt projekt har blodprov samlats in vid ett antal bestämda tidpunkter efter kollisionen. Koncentrationerna av proteinerna NSE, S100B, NFL och tau har därefter uppmäts i dessa prover. Analyserats har utförts av Pashtun Shahim vid Göteborgs Universitet; data från 28 spelare som ingår i den här studien har gjorts tillgängliga.

Material och Metoder

Denna rapport baseras på en analys av filmer från 30 kollisioner under pågående hockeymatch från Sports Editing Sweden AB. Videofilmerna kommer från matcher under säsongerna 12/13, 13/14 och 14/15. En huvudvy har funnits tillgång till i all 30 matcher och i 28 matcher en eller flera reprisvyer. De sistnämnda har underlättat analysen då det är svårt att uppfatta detaljer rörande kollisionen med hjälp av endast en huvudvy. Analysen ger svar på de 17 frågor som ingår i HUC och valda kinematikparametrar.

Analys i enlighet med Heads-up checklist

HUC innefattar 17 olika faktorer som bestäms i videoanalys av en spelsituation där minst en av spelarna utsätts för våld mot huvudet eller kroppen som medför våldsam huvudrörelse. HUC-faktorerna är grupperade utifrån händelsesituationen, spelsituation och utrustningen. Var och en av faktorerna beskriver en del i kollisionen (Tabell 1). En HUC-analys genomförs normalt av två "expert raters" som oberoende av varandra analyserar filmerna av kollisionerna och svarar på frågor i ett HUC-formulär (se detaljerad beskrivning i Bilaga A). Efter detta studeras hur väl deras svar stämmer överens och kan därefter dra slutsatser om svaret är trovärdigt eller inte med olika statistiska metoder. HUC har legat till grund för den analys som utförts i detta delprojekt men här har fyra personer oberoende av varandra analyserat filmerna av kollisionerna och svarat på frågor.

Tabell 1. HUC-faktorerna.

Event	Game Situation	Game sheet
Scenario	Zone	Period
Initial contact with	Location on body	Penalty
Region (body)	Location on rink	Score
Location	Situation	
Acceleration of head	Puck possession	
Secondary contact	Anticipated hit	
Tertiary contact	One-ice medical attention	

"Expert raters" definieras som personer med ansenlig erfarenhet av hockey och hjärnskakningar som varit verksamma inom hockey som spelare och/eller tränare. I detta delprojekt har Staffan Björkdahl, Kristian Ivancic, Elin Pipkorn och Johan Davidsson utfört analysen i enlighet med HUC. Dessa personer har ett stort intresse i idrott generellt men inte specifikt i hockey och har inte heller spelat hockey på någon högre nivå. I den generella presentationen av HUC-data har medelvärdet (counts) av fyra analyserna använts. Vid korrelation mellan andra faktorer och HUC-värden har det mest representativa

alternativet, dvs det mest frekventa alternativet som föreslås för den aktuella faktorn av de fyra personerna som utfört analysen, använts i analysen.

HUC-analysen har primärt utförts med hjälp av huvudvyn men även reprisvyerna har använts.

Analys av kinematik vid kollision

Videofilmerna från Sports Editing Sweden AB har, utöver HUC-analysen, analyserats i programvaran TEMA Automotive 3.17 (Image systems AB, Linköping, Sverige) med målet att bestämma kinematiken innan, under och efter kollisionerna för spelarnas huvud, bål och axlar. Data som erhållits från dessa analyser har därefter behandlats i Matlab.

Spelarens kinematik bestämdes med hjälp av huvudvyerna (Figur 1) då välkända markeringar var synliga i dessa filmer. För dessa vyer gällde att antalet bilder per sekund var 25 och upplösningen var 1920x1080 pixlar. De välkända markeringarna användes för att introducera en längdskala så att spelarnas förflyttningar över tiden kunde bestämmas i is-planet. Målsättningen var att bestämma hastigheterna för spelarnas hjälm, bål och axlar före och efter kollision.

I filmanalysen bestäms koordinater för en punkt av intresse i bildplanet (trackning) som i programvaran TEMA Automotive räknas om till koordinater i is-planet. Koordinater för is-planet placerades ut på markeringar med kända dimensioner och som var väl synliga i filmen (Figur 1). Figur 2 visar exempel på trackning av två spelares huvuden.



Figur 1. Vy av två spelare strax innan huvudkontakt.



Figur 2. Bestämning av huvuds koordinater i programvaran TEMA Automotive. Tre olika tidpunkter inför och vid huvudkontakt.

Bestämning av ett referenssystem i is-planet: Fyra referenspunkter placeras ut på synliga markeringar i isen. Dessa användes för att skapa ett koordinatsystem i TEMA Automotive som är parallellt med isen och som är oberoende tillfälligt använda objektivparametrar och kameravinklar. Om punkterna förhåll

sig med samma avstånd genom hela sekvensen ansågs kamerabrännvidden konstant över den period i matchen som filmen är inhämtad. Då alla aktuella hockeyrinkar har standardiserade mått mellan markeringarna i isen har därmed rörelsen i film-planet kunnat konverteras till SI-enheter i ett plan parallellt med isen. Något som har varit av stor vikt i placeringen av referenspunkterna har varit att dessa är synliga i huvudvyn under hela kollisionsförloppet. Om punkterna har skymts under en kortare tid har punktens position uppskattats manuellt.

Projektet har inte haft tillgång till kamerornas och objektivens egenskaper (information inte tillgänglig från Sports Editing Sweden AB) vilket krävt en iterativ process för att erhålla använda fokallängder. Då vissa avstånd på isen är kända, till exempel avståndet mellan tekningspunkterna vid blålinjen, har den iterativa processen ansetts tillräckligt exakt när använda egenskaperna har resulterat i att de uppmätta distanserna är lika i videoanalysen som de i verkligheten. Bristfällig kunskap om kamerornas och objektivens egenskaper leder till viss osäkerhet i bedömningen av åkarnas kinematik eftersom den använda iterativa processen sannolikt inte ger de exakta kameraegenskaperna.

För att erhålla åkarens hastighet har en diskret tidsderivering gjorts av de insamlade koordinaterna, t ex läget på spelarens huvud har använts för beräkning av huvudets hastighet som funktion av tid. Kurvor har därefter anpassats till de beräknade hastigheterna för 0,24 s (resultat från 6 bildrutor) före kollision med minsta kvadrat-metoden. Anledningen till att metoden användes var att de erhållna hastigheterna varierade kraftigt. Variationen uppkommer av låg videokvalitet som ger försvårad trackningen och av att spelarnas hastighet inte är konstant. Över det studerade tidsintervallet har medelhastigheten, uttryckt i is-planet och i planets två olika komponenter, för både den skadade spelaren och motståndaren används för att räkna ut resulterande kollisionshastigheter i planets två olika komponenter. Därefter har den resulterande hastighetskillnaden i is-planet beräknats. Hastighetsdata efter kollisionen fluktuerade mycket, pga. svårigheter att bestämma spelarnas koordinater, varpå den resulterande hastighetsförändringen för en spelare inte kunde bestämmas.

Modellutveckling

Delprojektet syftade till att med hjälp av information om de olika spelandes storlekar konstruera numeriska modeller av spelarna som kunde användas för att rekonstruera krockarna mellan åkare eller mellan åkare och sarg/is. Indata till dessa rekonstruktioner var videodata. Hypotesen var att dessa rekonstruktioner skulle ge ytterligare information om kollisionen; t.ex. träffade huvudet axeln eller armbågen om denna information inte är tillgänglig i videofilmerna. Utfallet från dessa rekonstruktioner kan korrelerats med antal dagar den skadade spelaren var borta från spel alt andra faktorvärden.

Modellerna kompletterar kinematikanalysen och ökar förståelsen för hur kollisionen faktiskt gått till då det i vissa fall är svårt att se vilka kroppsdelar som är engagerade i kollisionerna. Det händer att den viktiga delen av kollisionen sker mellan två bildsekvenser vilket gör det omöjligt att konstatera exakt vad som föranleder huvudskadan eller så huvudet dolt bakom någon annan kroppsdel. Modellerna skulle med hjälp av den data som tas fram från kinematikanalysen med TEMA Automotive kunna interpolera datapunkterna och sedermera visa mer exakt vad som händer i kollisionssögonblicken.

Den främsta faktorn som försvårade konstruerandet av modeller var videomaterialets kvalité. En upplösning på 1920x1080 pixlar visade sig vara för låg för att kunna utföra en tillförlitlig bestämning av spelarkropparnas läge och kroppshållning. Dessvärre filmas även dagens SHL-matcherna i just denna kvalité och videomaterial med högre upplösning finns för närvarande ej att tillgå.

Ytterligare en svårighet med att framställa modeller var att endast en kameravy fanns att tillgå där referensmarkeringar var synliga. Detta gjorde att all data som togs fram i kinematikanalysen var från

en två-dimensionell bild. Sådan data bedömdes inte av tillräcklig god kvalitet som underlag för utveckling av numeriska modeller.

Blodprovdata

Blodprovdata har samlats in och gjorts tillgänglig av Pashtun Shahim vid Göteborgs Universitet. Tillgängliga blodprovdata innehåller värden på koncentrationer av proteinerna NSE, S100B, NFL och tau i blod. Blodproverna har tagits från de drabbade spelarna 1, 12, 36 och 144 timmar efter kollisionstillfället samt i vissa fall vid RTP. Ingen data finns från prov tagna före kollision. Blodprovdata från 28 spelare som ingår i studien har gjorts tillgängliga.

Ett antal olika analyser av blodprovdata har genomförts:

Relativ skillnad i procent (change in concentration) är definierad som förhållandet mellan de två koncentrationerna; koncentrationen A och B, där relativa skillnaden i procent är $(B - A)/A \cdot 100$. Alla relativa skillnader presenterade i denna rapport utgår från koncentrationerna av blodmarkörerna vid 1 h (värdet A är från mätningar vid 1 h).

Individuella blodprovsvärden har normaliserats med värdet vid 1 h efter kollisionen. Beräkningen benämns "fold change" och är definierad som förhållandet mellan de två koncentrationerna; koncentrationen A och B, där "fold change" av B relativt A är B/A .

Data antogs var normalfördelad. Skillnader mellan grupper studerades med hjälp av T-tester (paired vid analys av förändringar av koncentrationer och *Two-sample equal variance* vid analys av *fold change* data. Signifikans anges i texten; ett P värde under 0.05/m har använts där $m = 3$ då det oftast har utförts tre multipla analyser per delanalys.

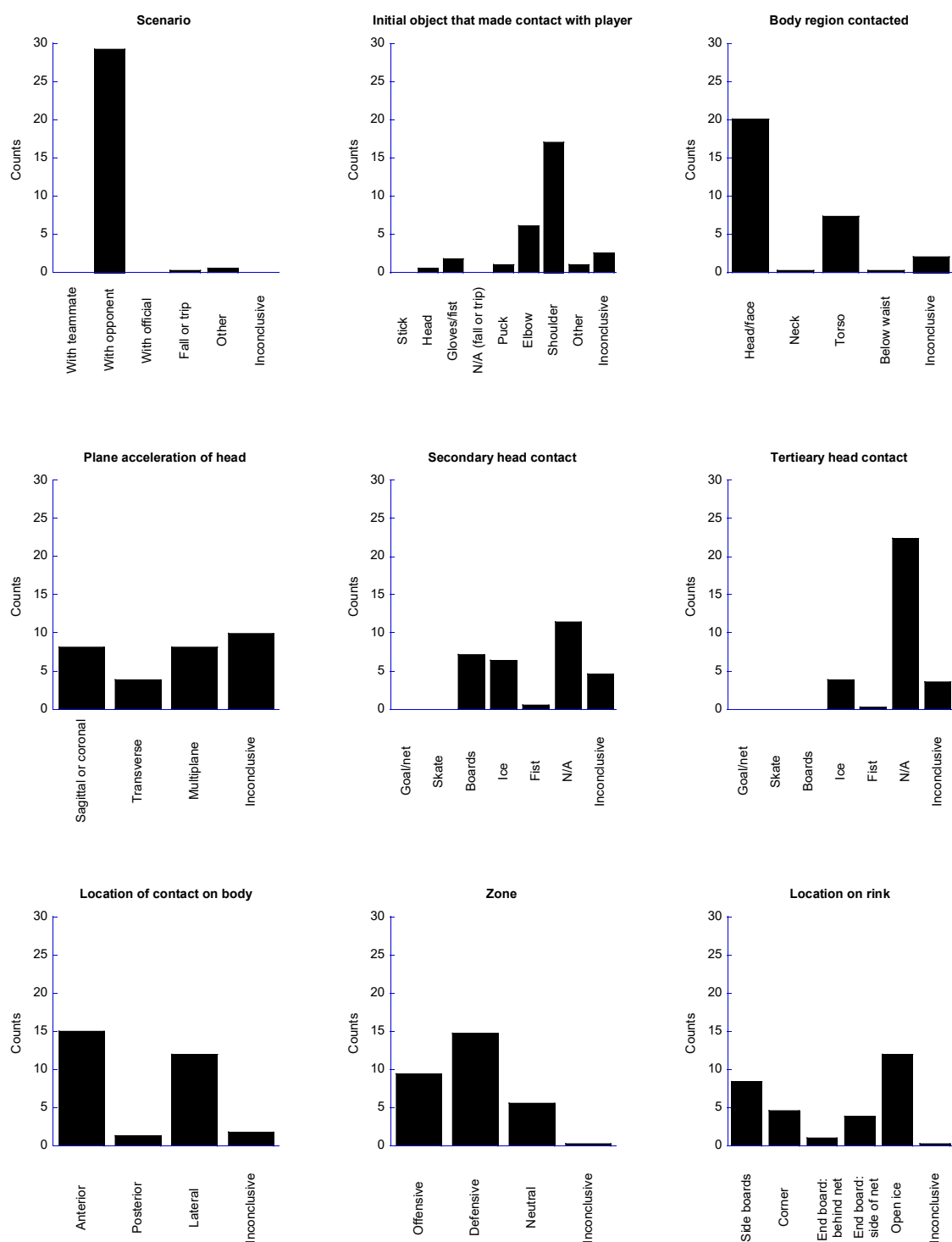
Return-to-play

Return to play (RTP), dvs hur lång tid spelaren varit borta från matchspel eller träning efter kollision, har även den samlats in och gjorts tillgänglig av Pashtun Shahim vid Göteborgs Universitet.

Resultat och Diskussion

Heads-up checklist

I cirka 97% av all analyserade kollisionerna ($n=30$), oberoende av längd på RTP eller resultat i blodprovsanalysen, uppstår kontakt mellan två spelare; den drabbade och opponenten (Figur 3).



Figur 3. Resultat från analys enligt utökad HUC, del 1. Counts är baserade på medelvärden per kollision av de fyra personernas bedömningar.

Om detta är för att kollisioner med endast en spelare, där den förolyckade utsätts för huvudvåld, är exkluderade eller om fall eller kollision med klubbkamrat eller domare i stort sätt inte förekommer kan inte denna studien beskriva. I totalt 58% av kollisionerna mellan två spelare var den första kontakten mellan huvud och opponentens axelskydd. Den näst mest förekommande kontakten vid kollisionerna mellan två spelare var den mellan huvud och armbåge; 21% av kollisionerna.

Vid kontakt mellan två spelare var det primärt den drabbades huvud, 66% av kollisionerna, som träffade opponenter. I bara 25% av dessa kollisioner var det en träff mellan den drabbades torso och någonstans på opponenter. Den drabbade träffades mest framifrån följt av från sidan; 50% respektive 40% av alla kollisioner. Tyvärr var huvudets resulterande huvudrörelse obestämbar i 33% av kollisionerna; när det gick att bestämma huvudrörelsen från filmen var den oftast komplex alternativt begränsad till sagittalplanet. Minst vanligt var i en resulterande huvudrörelse i transversalplanet.

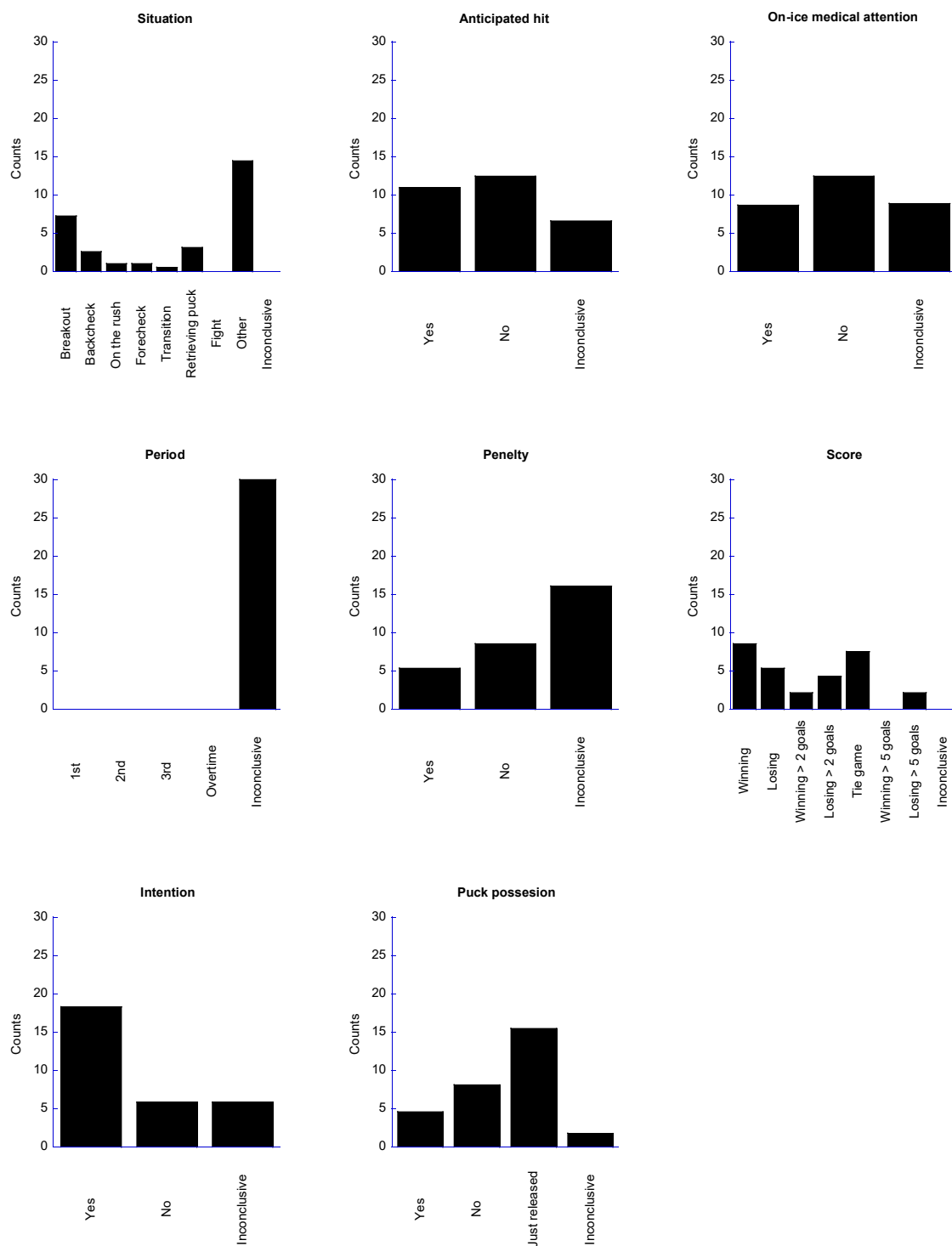
Efter den första träffen följde en andra huvud träff med andra strukturer i ca hälften fallen. Analysen av denna andra träff är inte uttömmande; i 38% av kollisionerna har det inte varit någon andra träff och i 15% av kollisionerna går det inte att bestämma om det förekommit någon andra träff. I 44% av kollisionerna har en andra huvudträff förekommit; hälften av dessa med isen och andra hälften med ringsargen.

Kollisionerna skedde i alla zoner; men var något mer frekvent i den defensiva jämfört med den offensiva och neutrala zonen av rinken. Något fler kollisioner skedde på öppen is än i närheten av sargen.

Det bedömdes att ungefär lika många av spelarna var medvetna om att en tackling väntade som de som var omedvetna (Figur 4). Ofta sker tacklingen direkt efter att den drabbade precis hade släppt ifrån sig pucken alternativt inte hade pucken. Noterbart är att spelaren då verkade ha sämre förmåga att skydda sig mot en tackling som under övrigt spel. Samtidigt verkar det i många fall som att spelaren vid ögonblicket alldeles före tackling verkade något ur balans. En tackling i en sådan situation kan ha en större effekt på spelarens möjlighet att skydda huvudet och även undvika sekundär kontakt med is eller sarg.

I 15 av kollisionerna finns information om straffpåföljd. I totalt 34% av dessa utdelades det straff. Detta trots att det bedömdes att tacklingen var planerad i 18 av 24 kollisioner där det gick att bedöma om tacklingen var planerad eller ej.

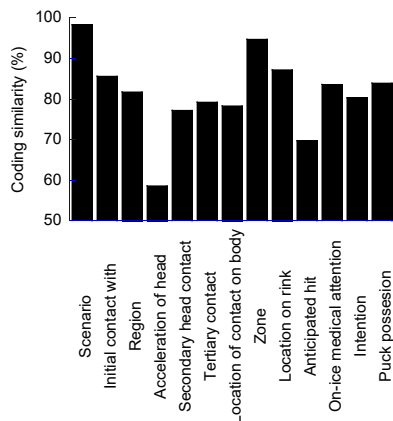
Resultat från HUC-analysen på individnivå återfinns i Bilaga B.



Figur 4. Resultat från analys enligt utökad HUC, del 2. Counts är baserade på medelvärden per kollision av de fyra personernas bedömningar.

Resultaten presenterade ovan är baserade på medelvärden av de utökade HUC-analyserna som fyra personer utförde. För vissa HUC-faktorer, typ av scenario och i vilken zon som kollisionen skedde, visar de fyra analyserna entydiga resultat (Figur 5). För andra faktorer, riktning på den resulterande

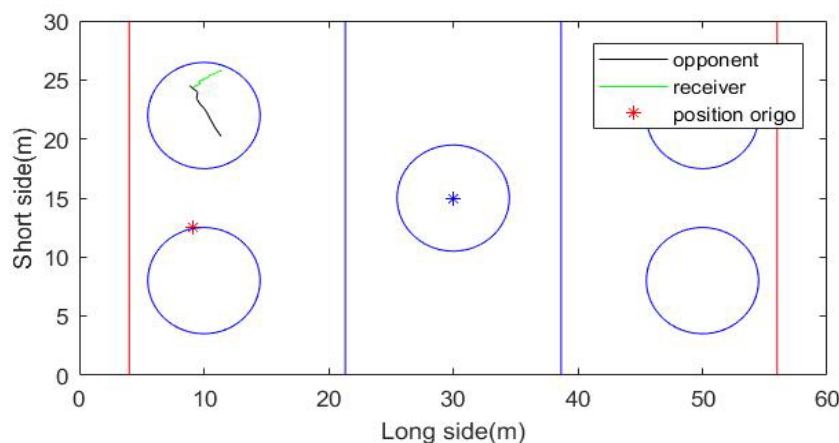
rörelsens av huvudet och om hur många av spelarna som bedömdes medvetna om att en tackling väntade, var de fyra kodarna inte lika samstämmiga.



Figur 5. Mått på hur lika de fyra personerna kodade filmerna. Om alla fyra kodare anger samma värde för en HUC-faktor vid kodning av en kollision kommer måttet att bli 100%. Om tre eller två kodare anger samma värde för en HUC-faktor vid kodningen av en kollision kommer måttet att bli 75% respektive 50%. Om alla fyra kodare anger olika värden för en HUC-faktor vid kodning av en kollision kommer måttet att bli 25%. I figuren ovan presenteras medelvärdet av dessa mått för alla 30 kollisionerna.

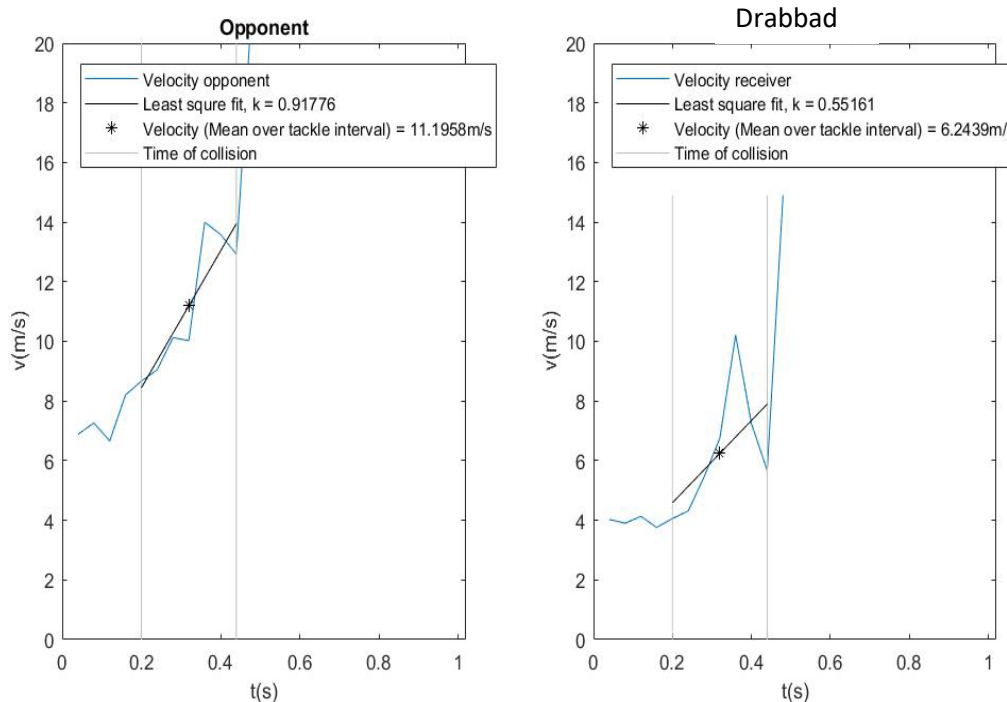
Kinematiken vid kollisionerna

Figur 6 visar en schematisk hockeyrink uppifrån och rörelsemönstret för två spelare fram till att de kolliderar. Som framgår av figuren bestämmer inte de individuella hastigheterna den resulterande kollisionshastigheten då de spelare kan vara allt från mötande till att de åker nära på parallellt.



Figur 6. Exempel på hur två spelare rör sig fram till kollisionen.

Figur 7 visar resulterande huvudhastigheter för situationen i Figur 6 för den drabbade och opponenten fram till kollision. Hastigheterna varierar avsevärt över tiden. Anledningen kan vara att spelarens huvud faktiskt accelererade men kan också ha sitt ursprung i att huvudena är delvis skymda i filmerna vilket ger att uppskattningen av dess koordinat över tiden var osäkra. Även hastigheten beräknad med minsta kvadratmetoden är inritad i Figur 7. Den kan anses vara ett medelvärde över det tidsintervallet som används vid beräkningarna. Metoden tar inte hänsyn till att huvudena kan ha ändrat sina accelerationer under den studerade tidsperioden (0,24 s före kollision).



Figur 7. Resultande hastighet för huvudet som funktion av tid. Högra vertikala linjen visar tid för kollision mellan två åkarna. Den vänstra vertikala linjen visar när beräkningen av medelhastigheten för kollision påbörjas (0,24 s före tid för kollision).

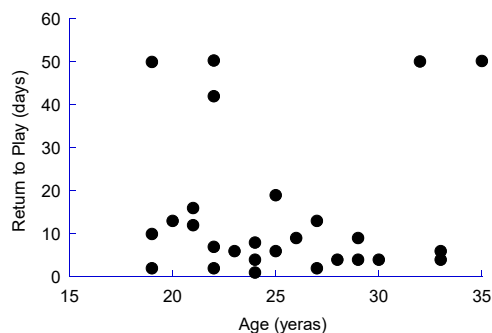
Den beräknade kollisionshastigheten, dvs hastigheten på de drabbades huvud relativt opponenten varierade mellan 5,0 m/s och 11,6 m/s med medel $\pm$ standardavvikelse på $6,6 \pm 2,2$ m/s ($n=15$).

I ett tidigt skede i projektet var målet att bestämma hastigheterna för spelarnas huvud, bål och axlar. Det sistnämnda då många tacklingar sker med just axlarna. Data för bål och axlar fluktuerade avsevärt och rapporteras därför inte.

Kollisionshastigheten för de spelarna där det gick att uppskatta hastigheter återfinns i Bilaga C.

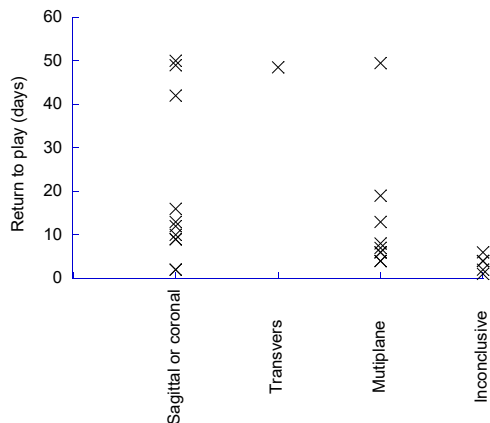
Korrelation mellan Return to Play och utfall Heads-up checklist

I Figur 8 återfinns diagram över hur lång tid som spelare i snitt var borta från spel (Return To Play - RTP) som funktion av ålder. Det verkar inte finnas någon tydlig korrelation mellan ålder och RTP i det studerade materialet som påverkar ytterligare analys där RTP ingår som en faktor.



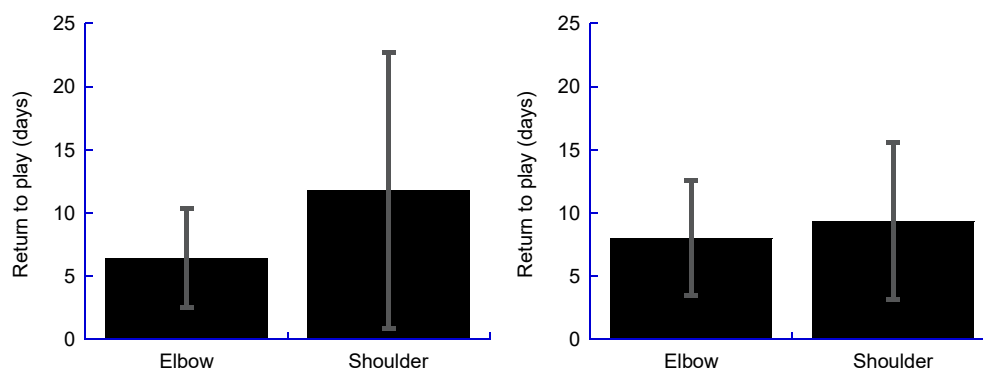
Figur 8. Antal dagar till RTP beroende på spelarens ålder. Notera att i fyra av de förolyckade inte återgick till spel; dessa är markerade i diagrammet som RTP = 50 dagar..

I Figur 9 återfinns diagram över RTP som funktion av det plan som huvudet rörde sig i efter träffen. Det verkar inte finnas någon tydlig korrelation mellan RTP och riktningen på huvudaccelerationen alt planet som huvudet roterade i vid/efter träffen.



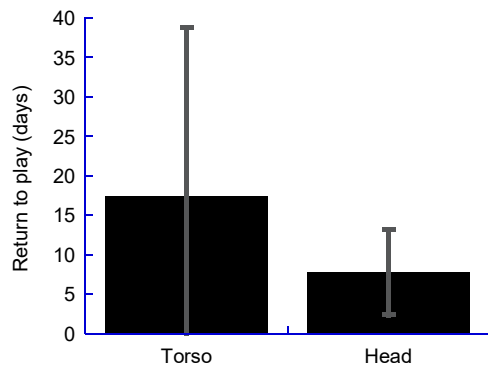
Figur 9. Antal dagar till RTP beroende på resulterande huvudrörelse (riktning på huvudets acceleration alt planet i vilket huvudet roterar direkt efter träffen). Notera att i fyra av de förolyckade inte återgick till spel; dessa är markerade i diagrammet som RTP = 50 dagar.

I Figur 10 återfinns diagram över antal dagar det dröjde från kollision till åter i spel som funktion av vad spelaren blev träffad av. Analysen indikerar att RTP var högre när den drabbade blev träffad av en axel relativt av en armbåge; detta var oberoende om den drabbade blev träffad i bröstet eller i huvudet. Spridningen i RTP var stor; skillnaden mellan RTP vid en träff av armbågen och vid en träff av axeln är ej signifikanta.



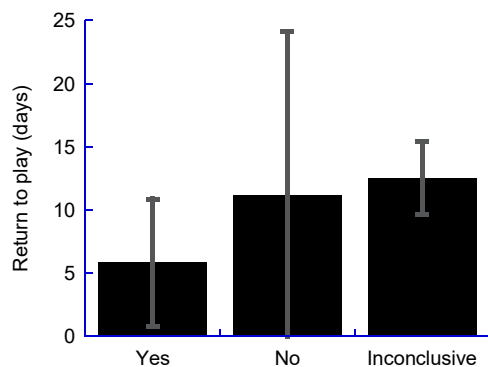
Figur 10. Antal dagar till RTP i medel $\pm$ std beroende på vad spelaren blev träffad av; till vänster alla träffar där armbåge eller axel träffade den drabbade och till höger alla träffar där armbåge eller axel träffade den drabbades huvud. Notera att i vänster diagram visas inte data från fyra kollisioner då det var fyra spelare som slutade med elithockey i samband med kollisionen; i tre av dessa träffades den drabbade av opponentens axel och i en av dessa träffades den drabbade av opponentens armbåge. På samma vis i det högre diagrammet; i två av dessa träffades den drabbades huvud av opponentens axel och i en av dessa träffades den drabbades huvud av opponentens armbåge.

I Figur 11 visas medel RTP för när den drabbade träffades i torson respektive i huvudet; träff av torson gav högre RTP i jämförelse med en träff av huvudet. Spridningen i RTP var hög; skillnaderna i RTP mellan träff av torso och av huvud beror på ett enstaka RTP-värde. Skillnaderna i RTP för olika träffar är inte signifikant.



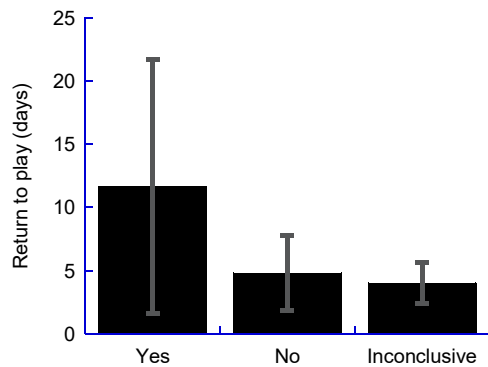
Figur 11. Antal dagar till RTP i genomsnitt $\pm$ std beroende på var spelaren blev träffad. Notera att data från fyra kollisioner inte visas då dessa slutade med elithockey i samband med kollisionen; i tre av dessa träffades den drabbade i huvudet och i en av dessa träffades den drabbade i bröstet.

Figur 12 visar medel $\pm$ std RTP som en funktion av om den drabbade var medveten om den förstående tacklingen. Den medvetna spelaren kom tillbaka till spel snabbare än den som inte var medveten eller där scenariot var komplext och det inte gick att bedöma om den drabbade såg att opponenten skulle dela ut en tackling. Skillnaderna mellan de som var medvetna och de som var omedvetna är ej signifikanta. Notera att av de fyra spelare i den här studien som inte återgick till spel efter kollisionen bedömdes det som att alla var omedvetna om den kommande tacklingen.



Figur 12. Antal dagar till RTP i genomsnitt $\pm$ std beroende på om den drabbade ansågs förutse tacklingen eller ej. Notera att data från fyra kollisioner inte visas då dessa spelare slutade med elithockey i samband med kollisionen; ingen av de fyra ansågs kunna ha förutsett tacklingen.

Figur 13 visar medel $\pm$ std RTP som en funktion av om det ansågs att opponenten planerade tacklingen eller ej. Den som blev tacklad av en opponent som planerade tacklingen kom tillbaka tydligt senare än den som blev tacklad i en situation som bedömdes som en oplanerad kollision. Skillnaderna var icke signifikanta. Notera att av de fyra spelare i den här studien som inte återgick till spel efter kollisionen bedömdes det som att opponenten planerade tacklingen.

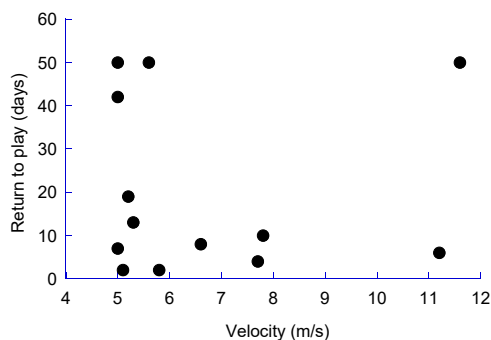


Figur 13. Antal dagar till RTP i genomsnitt $\pm$ std beroende på om det ansågs att opponenten planerade tacklingen eller ej. Notera att data från fyra kollisioner inte visas då dessa spelare slutade med elithockey i samband med kollisionen; i alla fyra fallen ansågs tacklingen ha varit planerad.

För varaktiga symptom, d.v.s. för de fyra spelare som inte återgick till spel på elitnivå efter kollisionen, var tre av fyra träffade av motståndarens axel. Vidare blev tre av de fyra träffade i huvudet. I alla fyra fallen ansågs den drabbade ej ha kunnat förutse tacklingen samt opponenten bedömdes ha planerat tacklingen.

Korrelation mellan Return to Play och kollisionshastighet

Det förekommer ingen korrelation mellan uppskattad kollisionshastighet och RTP (Figur 14).

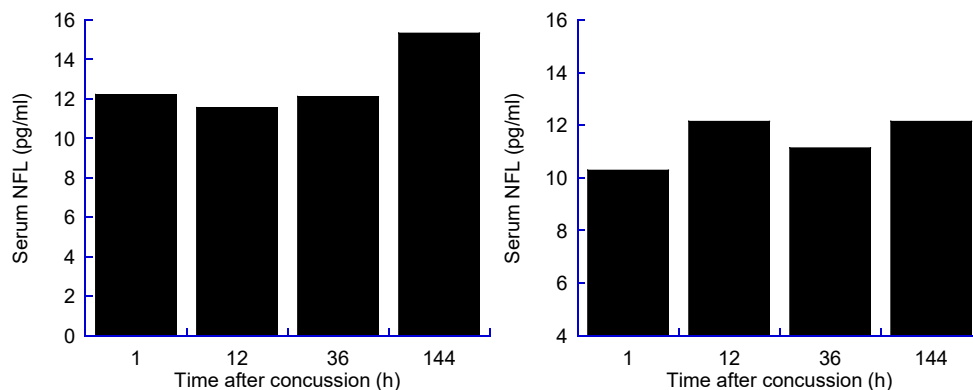


Figur 14. Antal dagar till RTP i genomsnitt som funktion av uppskattad kollisionshastighet.

Korrelation mellan blodmarkörer och utfall Heads-up checklist

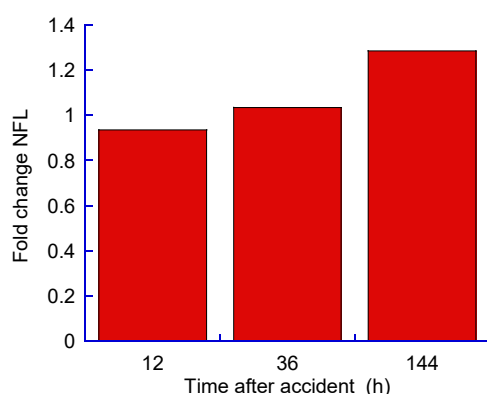
Nedan följer försök att korrelera olika faktorer från HUC, kollisionshastigheter och RTP med uppmätta koncentrationer av olika skademarkörproteiner i blodprov, s.k. blodmarkörer, som insamlats vid olika tider efter kollisionen samt i vissa fall vid RTP. Dessa proteiner är den lättare versionen av neurofilament (Neurofilament light, NFL) och tau, som båda förväntas öka i koncentration vid skada av axonerna, samt S100B som förväntas öka i koncentration vid skada av astrocyterna samt Neuron-specific enolase (NSE) som förväntas öka i koncentration vid skada av ett stort antal olika celler i hjärnan. Proteinnivåerna har uppmätts 1, 12, 36 och 144 timmar efter kollisionen; inga uppmätningar av nivåer har utförts vid tiden före hjärnskakning.

NFL data i den här studien stämmer inte fullt ut överens med de resultat som presenterats i tidigare studier av NFL-nivåer hos hockeyspelare med hjärnskakning (2) (Figur 15). Vid de mätningarna ökade medel-NFL-koncentrationen som funktion av tiden relativt 1 h efter kollisionen. I den här studien ökar inte medel-koncentrationen vid mätningarna vid 12 h och vid 36 h relativt 1 h men däremot vid 144 h.

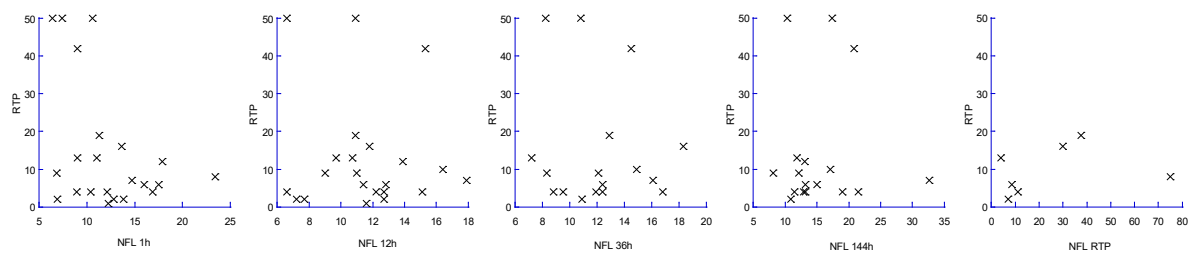


Figur 15. Medianvärden av alla mätningar av NFL i serum i denna studie (vänster) och i Shahim et al 2017 (höger).

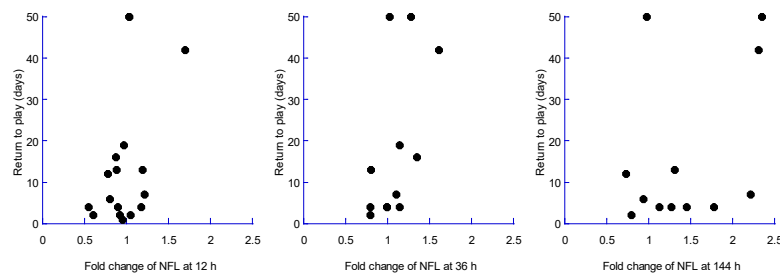
Även medelvärdet av parade NFL-koncentrationerna förblir i stort sätt oförändrade över tiden förutom vid 144 h; först mycket liten nedgång vid 12 h, en mycket liten ökning vid 36 h varpå koncentrationen ökar vid 144 h (Figur 16). Statistisk analys ger att det inte föreligger någon statistisk skillnad mellan medelvärdena för de olika insamlingstiderna. Vidare ökar inte RTP som en funktion av NFL-koncentrationerna vid någon av de studerade tiderna eller vid RTP (Figur 17). Men när RTP studeras som en funktion av förändringen av NFL vid 12 h, 36 h och 144 h i relation till värdena vid 1 h (fold change) kan en korrelation, om än svag, observeras; högre RTP för högre värden på förändringen av NFL (Figur 18). Noteras bör dock att några av de relativa NFL-värdena var under 1, dvs NFL koncentrationen minskade över tiden, för ett relativt stort antal kollisioner vid 12 h men något förre vid 36 h och vid 144 h. Det förekom inga statistiska skillnader i relativa NFL-värden (fold change) mellan de två grupperna $RTP \geq 9$ dagar relativt $RTP < 9$ dagar vid 12h, 26 h eller vid 144 h (Tabell 2). Slutsatsen är ett NFL-värdena uppmätta i denna studie kan eventuellt prediktera RTP men resultaten är inte signifikanta; antalet kollisioner som ingår i studien är för få för att kunna påvisa ett statistiskt samband oberoende om jämförelsen görs vid 12 h, 36 h eller vid 144 h efter kollisionen.



Figur 16. Medelvärdet av parade NFL-koncentrationerna vid tiden 12 h, 36 h och 144 h relativt medelvärdet vid 1 h (fold change); ett värde under 1 innebär en minskning av NFL vid tiden relativt NFL vid 1 h och ett värde över 1 innebär en ökning av NFL vid tiden relativt NFL vid 1 h.



Figur 17. RTP som funktion av NFL uppmätta vid olika tider efter trauma (spela som inte återgick till spel har i diagrammen markerats som RTP = 50 dagar).



Figur 18. Förändringen av NFL-koncentration över tiden i relation till värdena vid 1 h (fold change).

Tabell 2. Relativa NFL-värden (fold change) mellan de två grupperna RTP $\geq$ 9 dagar relativt RTP < 9 dagar vid 12h, 26 h eller vid 144 h.

Group/Time	12 h	36 h	144 h
Fold change for RTP $\geq$ 9 days	1.08	1.20	1.48
Fold change for RTP < 9 days	0.88	0.93	1.29
n for RTP $\geq$ 9 days	9	7	6
n for RTP < 9 days	10	7	8

I den här studien har även blodmarkörerna NSE, S100B och tau uppmäts och analyserats. Koncentrationerna av markörerna sjunker vid 12 h, 36 h och 144 h efter trauma i relation till nivåerna vid 1h (Tabell 3). Även när parade värden av NSE jämförs framkommer att all NSE nivåerna minskade relativt nivån vid 1 h och att dessa förändringar var signifikanta. Även de parade S100B koncentrationer uppvisar en signifikant minskning vid 12 h efter kollisionen. Tau minskade endast signifikant vid 12 h efter kollisionen när endast parade värden inkluderas i analysen. Vid 36 h och vid 144 h minskade koncentrationerna av tau relativt de vid 1h; men dessa förändringar var inte signifikanta. Dessa förändringar var inte förväntade.

Koncentrationsändringarna (fold change) av NSE, S100B och tau för grupperna RTP $\geq$ 9 dagar och RTP < 9 dagar var mycket små, var inte konsistenta och skillnaderna var inte heller signifikanta.

Tabell 3. Ökning (+) och minskning (-) av medelvärdena av koncentrationerna av blodmarkörerna NFL, NSE, S100B och tau relativt koncentrationerna vid tiden 1 h efter trauma.

Average change in concentration (%)	Number of entries in the estimate
-------------------------------------	-----------------------------------

Marker/Time	12 h	36 h	144 h	12 h	36 h	144 h
NFL	-2	6	34	19	15	12
NSE	-14	-21	-17	17	14	13
S100B	-42	NA	NA	17	NA	NA
tau	-33	-11*	-18	16	15	14

* This value is highly affected by one single measurement; without this single measurement the average change was -44%.

NA - not available

Osäkra faktorer

Det finns ett antal osäkra faktorer som påverkar resultaten av de utförda analyserna; både vad beträffar HUC, kinematikanalysen och analysen av RTP. Vad gäller HUC finns flera osäkra faktorer. En av dessa är att även ifall bedömningarna i enlighet med HUC utförts av fyra personer kan resultaten påverkas av systematiska fel; en viss situation bedöms på samma och eventuellt felaktiga sätt av samtliga fyra personer som bedömer situationerna. Ett exempel är sannolikt att riktningen på huvudets acceleration i samband med kollisionen är felbedömd då svarsalternativen inte är entydigt definierade. Alternativen "Sagittal or coronal" och "Transverse" är inte tillräckligt definierade. Om rotationen av huvudet och translationen av huvudet sker i olika plan – vilken skall då anges? Hur mycket får huvudet röra sig i två plan innan rörelsen klassas som "Multiplane"? Vidare, när bedömningarna utförts av endast fyra personer medför att randomiserade fel får stor inverkan (25% av utfallet).

Resultatet i analysen av kinematiken vid kollisionsögonblicket är beroende av flera olika faktorer. Dessa är kamerans brännvidd och avstånd till isen, samt hur väl referenspunkterna är utplacerade samt precisionen i målföljningen av hjälmen. Att placera ut referenspunkterna exakt samtidigt som kamerans brännvidd har itererats fram bedöms som svårt och är en relativt stor källa till fel; resultatet bör tolkas som uppskattningar. Man bör också vara medveten om att för att kunna genomföra kinematikanalysen i TEMA Automotive krävs det att avståndet till isen är känt. Dessvärre finns inte denna data tillgänglig och även den har fått itererats fram på liknande sätt som brännvidden.

Ett antal av de uppmätta blodmarkörerna är mycket känsliga på mängden hemolys, stressnivå hos den drabbade mm. Avsaknad av referensvärden, så kallade *base line* mätningar, av blodmarkörerna före kollisionen försvårar analysen.

Sammanfattning

Detta projekt får anses utgöra en pilotstudie som visar på både möjligheter och svårigheter med att analysera hjärnskakningar hos hockeyspelare utifrån tillgängliga videofilmer, RTP och blodprovdata. Att konstruera en modell som ger mer detaljerad information om orsaken till hjärnskakning och dess omfattning bedöms som möjlig men svårt. Med tillgång till fler kameravinklar och deras exakta positioner i förhållande till isen kan en bildanalys utföras mycket mer exakt. Man bör också ta i beaktning de relativt få spelare som analyserades. Data från fler spelare bedöms som en framkomlig väg även ifall insamlingsmetoderna och analysen förblir den samma som i den här studien. Ytterligare data skulle sannolikt medföra att analysen av korrelationer med RTP och HUC gav tydligare svar.

Även om inte de planerade numeriska modellerna av spelarna gick att förverkliga gav kinematikanalysen användbara resultat; bland annat kollisionshastigheten. Försök att korrelera

kollisionshastigheten med RTP gjordes men någon korrelation förelåg inte. Andra faktorer; som hur våldsam rotationen av huvudet var vid kollisionen har känd större inverkan på risken för hjärnskakning än ingångshastigheten. Noterbart är att de erhållna kollisionshastigheterna beror på manuell utplacering av referenspunkter som lagt grunden för koordinatsystemet. Utifrån detta koordinatsystem har sedan hastigheterna erhållits; små fel vid skapandet av koordinatsystemet påverka kollisionshastigheterna stort.

Den utförda analysen är baserad på HUC. Den har utförts något annorlunda än på det sett som utvecklarna av HUC avsåg. Fyra bedömare har utfört analysen och det blev uppenbart att några faktorer var svårbedömda. Inför framtida studier där film från kollisioner karakteriseras med hjälp där HUC bör några av beskrivningarna av faktorerna kompletteras.

Resultaten i korthet:

I stort sätt alla analyserade kollisionerna uppstår i kontakt mellan två spelare.

De vanligaste kontakterna var mellan huvud och opponentens axelskydd och mellan huvud och armbåge; 58% respektive 21% av de analyserade kollisionerna.

Den drabbade träffades i 66% av kollisionerna i huvudet och 25% i överkroppen. Vanligast var träffar framifrån. Den resulterande huvudrörelsen var oftast komplex alternativt begränsad till sagittalplanet.

Efter den första träffen följde det minst en andra huvudträff i 44% av kollisionerna. Hälften av dessa andra träffar var med isen och andra hälften med ringsargen.

Kollisionerna skedde i alla zoner och på öppen is samt i närheten av sargen.

Lika många av spelarna bedömdes varit medvetna om att en tackling väntade som de som var omedvetna.

Straff utdelades som en följd i 34% av kollisionerna; trots att 75% av tacklingarna bedömdes planerade.

Kollisionshastigheten varierade mellan 5,0 m/s och 11,6 m/s.

RTP är inte en funktion av ålder, riktningen på huvudaccelerationen eller kollisionshastigheten. Resultaten indikerar att RTP var högre när den drabbade blev träffad av en axel relativt av en armbåge. RTP var högre för de spelare som bedömdes omedveten om den förstående tacklingen. RTP var mycket högre för planerade tacklingar i jämförelse med tacklagar som var en följd i en situation där tacklingen är en del i en oplanerad kollision.

För varaktiga symptom, d.v.s. för de fyra spelare som inte återgick till spel på elitnivå efter kollisionen, var 75% träffade av motståndarens axel och lika stor andel träffade i huvudet. I alla fyra fallen ansågs den drabbade ej ha kunnat förutse tacklingen samt opponenten bedömdes ha planerat tacklingen.

Medelkoncentrationen av blodmarkören NFL sjunker vid mätningarna vid 12 h och vid 36 h relativt 1 h men ökar något vid 144 h relativt 1 h.

Medelvärde av parade NFL-koncentrationerna förblir i stort sätt oförändrade över tiden förutom vid 144 h då det förekommer en icke statistiskt signifikant ökning.

Det går att skönja en svag korrelation mellan RTP och förändringen av NFL vid 12 h, 36 h och 144 h i relation till värdena vid 1 h; högre RTP för högre NFL

NFL-värden för gruppen RTP ≥ 9 dagar skiljer sig inte signifikant mot värden för gruppen RTP < 9 dagar vid 12h, 26 h eller vid 144 h efter kollisionen. NFL-värdena kan prediktera RTP men resultaten är inte signifikanta.

Parade koncentrationer av blodmarkörerna NSE, S100B och tau sjunker signifikant vid 12 h i relation till nivåerna vid 1h efter trauma. Dessa förändringar var inte förväntade.

Koncentrationsändringarna av NSE, S100B och tau för gruppen RTP ≥ 9 dagar skiljer sig inte signifikant mot värden för gruppen RTP < 9 dagar vid 12h, 26 h eller vid 144 h efter kollisionen.

Rekommendationer för framtida studier

Möjligheten till att skapa numeriska modeller av spelarna som underlättar kodning av hjärnskador inom hockey är, med det videomaterialet som funnits att tillgå, svårt. För att konstruera en modell skulle fler kameravinklar med exakt position och fast optik behövas. Detta skulle ge en möjlighet att bygga 3-dimensionella numeriska modeller av spelarna vilket med största sannolikhet skulle förbättra resultaten samt ge mer pålitlig kollisionsskinematik då kamerapositionerna varit exakta. Mycket troligt skulle också en ökad kameraupplösning ge mer tillförlitliga resultat. Då "trackningen" sker manuellt för varje bildruta kan givetvis detta ge en viss osäkerhet och för att hantera detta "brus" bör fler personer genomföra den manuella trackning och en statistisk analys utföras för att ge ett säkrare resultat.

HUC består som tidigare nämnt av två "expert raters" som oberoende av varandra svarar på ett antal frågor i ett formulär. När denna analys applicerades på detta projekt har endast en bedömare gjort analysen. I framtiden bör man, likt med den manuella trackningen, använda fler bedömare vid HUC-analysen för att statistiskt säkerställa den. Man bör förslagsvis låta experter inom såväl hockey som biomekanik och medicin bedöma de olika fallen. Detta skulle också eliminera eventuella "slarvfel" som kan uppstå när få bedömare gör analysen genom att "outliers" undersöks och tas bort om de uppenbart skiljer sig från de övriga svaren.

För att också statistiskt säkerställa en fungerande modell bör fler "samples" finnas att tillgå. Projektet har haft tillgång till filmer av 30 situationer samt biomarkördata and RTP från 27 spelare.

Som nämnt i introduktionen kunde inte någon annan metod som motsvarande HUC hittas i litteraturen. Däremot används flertalet protokoll, bland annat SCAT, för kodning av symptom mm efter hjärnskakningar. Dessa protokoll skulle mycket väl utgöra kompletterande data.

Referenser

1. Hutchison MG, Comper P, Meeuwisse WH, et al. (2015) A systematic video analysis of National Hockey League (NHL) concussions, part I: who, when, where and what? *Br J Sports Med* 2015;49:547-551.
2. Shahim P, Zetterberg H, Tegner Y, Blennow K (2017) Serum Neurofilament Light as a Biomarker for Mild Traumatic Brain Injury in Contact Sports *Neurology* 2017 May 09;88(19):1788-1794.
3. SCAT5 (2017) Sport Concussion Assessment Tool – 5:e utgåvan;
http://www.svenskidrott.se/globalassets/svenskidrott/dokument/undersidor/elitidrott/idrottsmedicin/verktyg/scat5_rf_2017.pdf?w=900&h=900

Bilaga A - Beskrivning av Heads-up checklist

Nedan redovisas frågor samt svarsalternativ

1. Scenario

Denna faktor syftar på vem som den drabbade spelaren blir träffad av. Svarsalternativen är:

1. With teammate
2. With opponent
3. With official
4. Fall or trip
5. Other
6. Inconclusive

2. Initial object that made contact with player

Denna faktor syftar på vad det är som träffar den drabbade spelare. Svarsalternativen är:

1. Stick
2. Head
3. Gloves/fist
4. N/A (fall or trip)
5. Puck
6. Elbow
7. Shoulder
8. Other
9. Inconclusive

3. Body region contacted

Vilken kroppsdel som blir träffad. Svarsalternativen är:

1. Head/face
2. Neck
3. Torso
4. Below waist
5. Inconclusive

4. Plane acceleration of head

Vilket plan som huvudet accelererar i. Svarsalternativen är:

1. Sagittal or coronal
2. Transverse
3. Multiplane
4. Inconclusive

5. Secondary contact

Vad huvudet träffar i en eventuell andra kollision. Svarsalternativen är:

1. Goal/net

2. Skate
3. Boards
4. Ice
5. Fist
6. N/A
7. Inconclusive

6. Tertiary contact

Vad huvudet träffar i en eventuell tredje kollision där svarsalternativen är de samma som i föregående faktor.

1. Goal/net
2. Skate
3. Boards
4. Ice
5. Fist
6. N/A
7. Inconclusive

7. Location on body

I vilken riktning kollisionen sker sett från den drabbade spelaren. Svarsalternativen är:

1. Anterior
2. Posterior
3. Lateral
4. Inconclusive

8. Zone

Syftar på i vilken zon kollisionen sker. Svarsalternativen är:

1. Offensive
2. Defensive
3. Neutral
4. Inconclusive

9. Location on rink

Specificerar var tacklingen sker. Svarsalternativen är:

1. Side boards
2. Corner
3. End board – behind net
4. End board – side of net
5. Open ice
6. Inconclusive

10. Situation

Denna faktor syftar på i vilken spelsituation som kollisionen sker. Svarsalternativen är:

1. Breakout - A sudden attack by a team that has been defending
2. Backcheck - Rushing back to the defensive zone in response to an opposing team's attack
3. On the rush
4. Forecheck - Checking in the offensive zone in order to gain control of the puck and set up a scoring opportunity
5. Transition - sudden changes in play from one direction to another
6. Retrieving puck
7. Fight
8. Other
- a. Inconclusive

11. Anticipated hit

Syftar på om den drabbade spelaren är medveten om att en kollision är i nära förestående.

Svarsalternativen är:

1. Yes
2. No
3. Inconclusive

12. On-ice medical attention

Om någon medicinsk assistans i form av exempelvis läkare eller fysioterapeut kommer in och omhändertar den skadade spelaren. Svarsalternativen är:

1. Yes
2. No
3. Inconclusive

13. Period

I vilken period kollisionen sker. Svarsalternativen är:

1. 1st
2. 2nd
3. 3rd
4. Overtime
5. Inconclusive

14. Penalty

Syftar på om det dömdes utvisning efter kollisionen. Denna faktor syftar alltså inte på något straff i form av exempelvis avstängning som beslutades om i efterhand. Svarsalternativen är:

1. Yes
2. No

3. Inconclusive

15. Score

Den skadades lags matchresultat. Svarsalternativen är:

1. Winning
2. Losing
3. Winning > 2 goals
4. Losing > 2 goals
5. Tie game
6. Winning > 5 goals (Tillagd i denna metod)
7. Losing > 5 goals (Tillagd i denna metod)
8. Tie game
9. Inconclusive

16. Intention (tillagd i denna analys)

Syftar på om motståndaren har någon intention att medvetet tackla på ett sådant vis att risk för att träffa huvudet är överhängande. Svarsalternativen är:

1. Yes
2. No
3. Inconclusive

17. Puck possession

Var den drabbade i besittning av pucken när kollisionen skedde? Svarsalternativen är:

1. Yes
2. No
3. Just released (tillagd i denna metod) - How is it known that the puck is actively release as a results of the awareness of eh impending collision?
4. Inconclusive

18. Closing speed (only if available)

Bilaga B - Resultat av analysen enligt Heads-up checklist på spelarnivå

Puck possession	Intention	Score	Pelty	Period	On-ice medical attention	Anticipated hit	Situation	Location on rink	Zone	Location on body	Tertiary contact	secondary contact	Acceleration of head	Region	Initial contact with	Scenario	Assigned accident no.
3	1	2	2	5	3	2	8	5	1	1	6	6	3	1	7	2	1
4	1	4	3	5	1	2	6	5	1	1	6	6	1	1	7	2	2
3	1	5	3	5	2	1	8	5	2	1	6	6	3	3	7	2	3
4	3	2	3	5	3	2	8	1	2	2	6	6	4	3	6	2	4
3	1	3	1	5	3	1	8	4	2	3	6	6	4	5	6	2	5
3	1	5	2	5	2	1	8	2	1	1	6	6	3	1	7	2	6
2	3	7	3	5	2	1	2	2	2	1	6	6	4	1	7	2	7
3	1	1	1	5	3	2	8	4	2	3	6	6	3	1	6	2	8
1	3				3	2	5	5	2	1	6	6	3	1	7	2	9
3	2	1	3	5	1	2	8	5	1	1	6	6	4	1	6	2	10
3	1	1	3	5	3	2	8	5	1	3	6	6	4	1	8	2	11
3	3	7	2	5	2	1	8	4	2	3	6	6	4	5	9	2	12
1	1	1	2	5	1	2	8	5	1	1	6	6	3	1	6	2	13
2	2	2	3	5	1	1	1	5	3	1	6	6	4	1	3	2	14
3	1	2	2	5	3	1	8	3	2	1	6	6	1	1	7	2	15
3	1	5	3	5	1	2	1	1	3	3	7	6	1	3	7	2	16
2	2				3	1	8	5	2	3	6	6	1	3	7	2	17
3	1	2	3	5	3	2	8	1	2	1	6	6	1	1	7	2	18
3	1	4	3	5	3	2	1	1	2	3	7	7	3	1	6	2	19
3	1	1	1	5	1	2	6	2	2	1	6	6	4	1	3	2	20
3	1	5	1	5	3	2	6	1	2	3	6	6	2	3	7	2	21
1	1	5	3	5	2	3	1	5	1	1	6	6	1	1	7	2	22
1	1	4	3	5	2	3	1	1	3	3	6	6	1	1	7	2	23
2	3	5	3	5	1	1	4	1	1	4	7	3	3	1	7	2	24

25	5	5	1	1	6	6	1	2	5	8	2	3	5	2	5	2	2
26	2	7	1	1	6	6	1	3	5	1	3	1	5	1	4	1	2
27	2	8	1	4	4	6	1	2	4	2	1	1	5	3	1	2	2
28	2	7	1	1	6	6	1	3	5	1	2	2	5	2	1	1	1
29	2	7	5	1	6	6	3	1	2	3	3	2	5	2	3	1	1
30	2	7	1	3	7	6	1	3	1	8	1	2	5	3	1	2	2

Bilaga C

Tabell som redovisar kollisionshastighet mellan den drabbade och opponent utifrån data från filmanalysen för de kollisioner där hastigheten gick att uppskatta.

No.	Kollisionshastighet (m/s)
1	5.2
2	11.6
5	7.7
6	5.2
7	5.1
8	5
9	7.3
11	6.6
13	5
15	7.8
16	5
20	5.8
21	5.6
22	5.3
30	11.2
Medel ± Standarddeviation	6.6 ± 2.2