

SLUTRAPPORT – SKYLTFONDEN

Krockdocka som testar whiplashskyddet för kvinnor

av

Anna Carlsson & Mats Svensson

Chalmers, Göteborg

2014

Före



Efter



Slutrapporten är framtagen med ekonomiskt stöd från Trafikverkets Skyltfond. Ståndpunkter, slutsatser och arbetsmetoder i rapporten reflekterar författaren och överensstämmer inte nödvändigtvis med Trafikverkets ståndpunkter, slutsatser och arbetsmetoder inom rapportens ämnesområde.

1. Sammanfattning

Studien har som huvudsyfte att förbättra prototyp-krockdockan BioRID 50F och består av följande delmoment:

- Uppgradering av huvud
- Uppgradering av underarmar/händer
- Uppgradering av underben/fötter
- Förenklad inmätning av H-punkten
- Justering av ryggradens kurvatur
- Justering av ryggradens styvhet
- Statisk provning av böjstyvhet i överkropp och ryggrad
- Dynamisk provning för verifiering av dockans bio-fidelitet

Vi fann att:

- Det har skett en avsevärd förbättring av bakåtroteringen i T1-kotan jämfört med BioRID 50F_V1. Viss förbättringspotential kvarstår för att nå genomsnittsnivån för resultat från volontärprov.
- Vi ser även att den horisontella T1-rörelsen relativt släden är något i underkant och detta hänger troligen samman med den låga bakåtroteringen – hade T1 roterat mer bakåt hade även T1 rört sig bakåt.
- En anledning till att vi inte har fått upp rotationen i T1 till den genomsnittliga volontärnivån kan vara att vi har krökt om och rätat upp ryggraden på BioRID 50F_V2, och därmed har T1 redan i startpositionen hamnat i ett läge närmare stolsryggen.
- En annan anledning till att vi inte har fått upp rotationen i T1 tillräckligt kan vara att höjden på T1 inte är samma för BioRID 50F som för 50-percentila kvinnor – uppskattningsvis är den i storleksordningen 2-3 cm för låg. Anledningen till detta ligger i nuvarande konstruktionen av BioRID 50Fs ryggrad som är en lågbudget-modifiering av den manliga krockdockan BioRID II (P3). För att få sitthöjden rätt togs de två nedersta ländkotorna, samt 20 mm av sakrum-kotan, bort. Hela anpassningen av sitthöjden har gjorts på ryggen mellan T1 och pelvis, men ingen anpassning har gjorts när det gäller längden på halsen eller höjden på huvudet. En framtida fullt utvecklad kvinnlig krockdocka behöver byggas med nya komponenter från grunden så att ryggradens sektioner blir exakt anpassade till en genomsnittlig kvinnas mått. Då kommer T1 kotan att få rätt höjd. Ett sådant projekt beräknas dock kosta 15 miljoner kronor. En ytterligare förbättring i nuvarande lågbudget-anda skulle vara att öka höjden på sakrum-kotan 2-3 cm och göra motsvande minskning på halslängden. På så sätt skulle T1 att hamna högre upp relativt stolsryggen, mera representativt för en kvinna och därmed röra sig mer bakåt, närmre nivån i volontärresultaten.

2. Erhållen trafiksäkerhetsnytta

Vi har genomfört förbättringar på en prototyp av en 50-percentil kvinnlig krockdocka, BioRID 50F, avsedd för upphinnandekollisioner vid låga hastigheter. Denna prototyp kan användas som ett verktyg för att dels utvärdera skyddseffekten av olika bilstolar och whiplash-skydd med avseende på kvinnor, och dels för att öka kunskapen och förståelsen för hur kvinnor interagerar med bilstolen i kollisionförloppet. Det långsiktiga målet är att ytterligare minska risken för whiplashskada för både kvinnor och män.

3. Bakgrund

Whiplash Associated Disorder (WAD) (sk whiplashskador) är fortfarande ett stort problem – både för den drabbade individen och för samhället i stort. I Sverige rapporteras 30 000 whiplashskador varje år, varav 1 500 blir klassificerade till en invaliditetsgrad på mer än 10%. Den beräknade kostnaden för samhället överstiger 4 miljarder kronor per år. Statistik från försäkringsbolaget Folksam har visat att whiplashskador står för 70% av kostnaderna för de trafikrelaterade personskadorna.

Whiplashskador uppkommer vid krockar i låga hastighetsändringar (10–25 km/h), och i alla krockriktningar. Upphinnandekollisioner (påkörning bakifrån) orsakar dock den största andelen av dessa skador.

Sedan mitten av 1960-talet har personskadestatistik visat att kvinnor löper betydligt (storleksordning 2 ggr) högre risk än män att drabbas av whiplashskada i samband med krockar (Narragon 1965; Kihlberg 1969; O'Neill m.fl. 1972; Thomas m.fl. 1982; Otremski m.fl. 1989; Morris & Thomas 1996; Temming & Zobel 1998; Chapline m.fl. 2000; Krafft m.fl. 2003; Storvik m.fl. 2009; Carstensen m.fl. 2011).

Många bilmodeller är idag utrustade med olika typer av whiplashskydd för att minska risken för whiplashskada vid en upphinnandekollision. Vid utprovning och optimering av dessa whiplashskydd använder man sig framför allt av krockdockan BioRID 50M, som till storlek och mekaniska egenskaper representerar en 50-percentil (genomsnittlig) man. På senare tid har studier visat att bilarnas whiplashskydd generellt är ca 30% mer effektiva för män än för kvinnor. En trolig anledning till denna skillnad är just att stolar och skyddssystem främst är anpassade till en genomsnittlig man.

En 50-percentil kvinnlig krockdocka är representativ för en stor andel av de kvinnor som drabbas av whiplashskada, eftersom längd- och viktfördelningen hos personer med whiplashskada följer ungefär samma normalfördelningskurva som hela populationen (Carlsson m.fl. 2012). I EU-projektet ADSEAT (<http://www.adseat.eu>) har man därför tagit fram en första prototyp av en krockdocka – BioRID 50F_P1 – avsedd för upphinnandekollisioner, som till storlek och vikt motsvarar en 50-percentil kvinna. Prototypen konstruerades av nedskalade och modifierade delar från den 50-percentila manliga krockdockan BioRID 50M. BioRID 50F kan bli ett värdefullt verktyg för att exempelvis kunna förstå varför whiplashskydden fungerar sämre för kvinnor än för män.

I ADSEAT-projektet har BioRID 50F_P1 använts i krockprov med fyra olika stolsmodeller från standardbilar. När man jämförde dessa krockprov med tidigare utförda krockprov med BioRID 50M (i samma provuppställning) kunde man se stora skillnader i dynamisk respons och stolsinteraktion. Bland annat såg man att stolsryggen flexade mindre bakåt för den lättare BioRID 50F_P1, vilket medförde att prototypen fick en tidigare rörelseändring framåt relativt stolen, och generellt högre accelerationer. I en av stolsmodellerna såg man att BioRID 50F_P1 sjönk djupt in i stolen på grund av att den inte tog i stolsramen (utan passade in emellan den). Dessa inledande prover visade att BioRID 50M och BioRID 50F_P1 kan ha väldigt olika interaktioner med sätet samt olika dynamisk respons (rörelsemönster).

För att ytterligare förbättra konstruktionen av BioRID 50F_P1 skulle underarmar, underben och eventuellt huvudet kunna bytas ut mot modifierade delar från den lilla kvinnliga krockdockan, Hybrid III 5F. Vidare skulle man behöva förenkla inmätningen av H-punkten vid krockprovning. Dessutom behöver ryggradens kurvatur justeras samt överkroppens styvhet minskas för att bättre representera en 50-percentil kvinna. Därmed skulle det bli möjligt att studera skadekriterier i dockan, såsom nack-kraftbaserade kriteriet N_{km} och det accelerationsbaserade NIC-kriteriet (Neck Injury Criterion). Dessa mätvärden kommer då att erbjuda en mer direkt jämförelse med den manliga dockan BioRID 50M samt öka möjligheten för biltillverkarna att säkerställa att kvinnor får samma skyddseffekt som män från whiplashskydden i bilstolarna.

4. Syftet med projektet

Målet med projektet är att ytterligare förbättra samt utvärdera en prototyp av en krockdocka avsedd för upphinnandekollisioner i låga hastigheter, BioRID 50F_P1, som till storlek och massa motsvarar en genomsnittlig (50-percentil) kvinna.

5. Beskrivning av metod och material

Studien består av följande delmoment:

Uppgradering av huvud

BioRID 50F_P1 var utrustad med ett huvud från BioRID 50M där den främre gummistrukturen ("ansiktet") var borttagen för att reducera vikten (**Figur 2a**). För att förbättra denna konstruktion fanns två primära alternativ; antingen att modifiera ett befintligt dockhuvud eller att tillverka ett unikt 50F-huvud. På grund av den begränsade budgeten i projektet utslöts det senare alternativet.

Krockdockan Hybrid III 5F har ett huvud vars dimensioner ligger något lägre jämfört med den 50-percentila kvinnans (2% mindre omkrets, 2% mindre bredd, 2% mindre höjd), medan BioRID 50M har ett huvud som ligger något högre (4% större omkrets, 6% större bredd, 5% större höjd) (**Tabell 1**).

Tabell 1. Jämförelser av huvudets dimensioner för en Hybrid III 5-percentil kvinna, en BioRID II 50-percentil man, samt en 50-percentila kvinna.

Dimensioner huvud	Hybrid III		BioRID II 50-percentil man
	5-percentil kvinna	50-percentil kvinna	
Massa	3.73 ¹⁾ kg	3.58 ²⁾ kg	4.54 ¹⁾ kg
Omkrets	53.85 ¹⁾ cm	54.90 ³⁾ cm	57.15 ¹⁾ cm
Bredd	14.22 ¹⁾ cm	14.58 ³⁾ cm	15.49 ¹⁾ cm
Höjd	18.29 ¹⁾ cm	18.69 ³⁾ cm	19.56 ¹⁾ cm

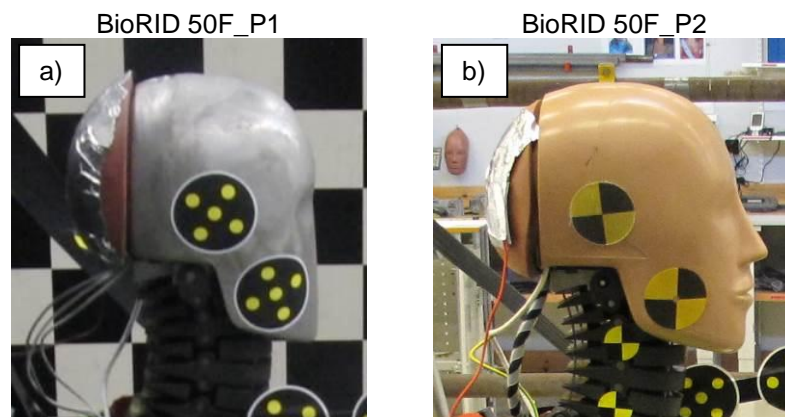
1) Produktblad från Humanetics/Denton.

2) Beräknad vikt baserat på Young m.fl. (1983).

3) Young m.fl. (1983).

Efter diskussioner med Humanetics (tillverkare av krockdockor) kom vi fram till att ett byte till ett Hybrid III 5F-huvud inte var ett realiserbart alternativ. Den främsta anledningen var att Hybrid III 5F-huvudet skulle komma i konflikt med de övre regionerna av nacken. Humanetics förslög istället att vi skulle använda ett komplett huvud från BioRID 50M med demonterad ballast. BioRID 50F_P2:s huvud skulle därmed bli representativt för en 50-percentil kvinna med avseende på vikten, medan dimensionerna skulle vara något för stora (**Tabell 1**).

När ballasten hade monterats ur vägde BioRID 50F_P2:s huvud 3.57 kg, dvs väldigt nära den 50-percentila kvinnans huvud (3,58 kg, **Tabell 1**). Det slutliga resultatet visas i **Figur 1b**.



Figur 1. a) Huvud på BioRID 50F_P1 (huvud från BioRID 50M med främre gummistruktur borttagen).
b) Huvud på BioRID 50F_P2 (huvud från BioRID 50M med demonterad ballast).

Uppgradering av underarmar/händer

Underarmarna på BioRID 50F_P1 bestod av nerskalade delar från BioRID 50M och saknade händer (**Figur 2a**); händerna fick prioriteras bort för att underarmarnas vikt och längd skulle bli representativa för en 50-percentil kvinna.

Krockdockan Hybrid III 5F har underarmar vars längd är 20 mm kortare, och vikt nästan är identisk med den 50-percentila kvinnans (**Tabell 2**). Av tabellen framgår att även händerna har snarlik vikt. För att kunna använda underarmarna från Hybrid III 5F till BioRID 50F_V2 måste dock underarmarnas infästning i armbågsleden

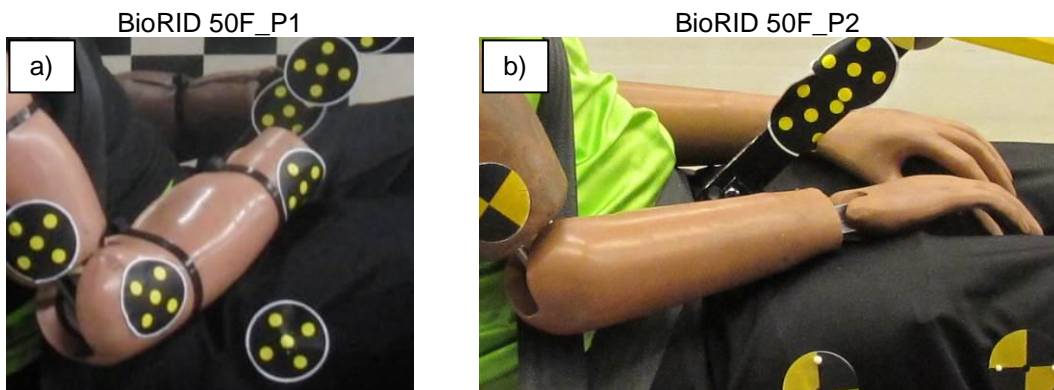
justeras. Anledningen till detta är att BioRID 50F_V1 är utrustad med modifierade underarmar från BioRID 50M, vars infästning mot armbågsleden inte är densamma som för Hybrid III 5F.

Humanetics skänkte underarmar inklusive händer från Hybrid III 5F till projektet. Omarbetningen av underarmarna (dvs 2 cm förlängning samt justering av armbågslederna) gjordes på Autolivs Centralverkstad i Vårgårda. Resultatet visas i **Figur 2b**.

Tabell 2. Jämförelser av underarmens/handens dimensioner för en Hybrid III 5-percentil kvinna, en BioRID II 50-percentil man, samt en 50-percentila kvinna.

Dimensioner underarm	Hybrid III				BioRID II	
	5-percentil kvinna		50-percentil kvinna		50-percentil man	
Vikt (underarm+hand)	1.18 ¹⁾	kg	1.17 ²⁾	kg	2.27 ⁴⁾	kg
Vikt (underarm)	0.90 ¹⁾	kg	0.85 ²⁾	kg	1.68 ⁴⁾	kg
Vikt (hand)	0.28 ¹⁾	kg	0.31 ²⁾	kg	0.55 ⁴⁾	kg
Armbågsled till handled	21.4 ⁵⁾	cm	23.4 ³⁾	cm		

- 1) <http://www.humaneticsatd.com/crash-test-dummies/frontal-impact/hybrid-iii-5th..>
- 2) Beräknad vikt baserat på Young m.fl. (1983).
- 3) Diffrient m.fl. (1974).
- 4) Produktinformation från Denton/Humanetics
- 5) Email-korrespondens med Humanetics.



Figur 2. a) Underarmar på BioRID 50F_P1 (nerskalade delar från BioRID 50M).
b) Underarmar på BioRID 50F_P2 (modifierade delar från Hybrid III 5F).

Uppgradering av underben/fötter

Underbenen på BioRID 50F_P1 bestod av nerskalade delar från BioRID 50M och hade endast en mycket enkel ankel- och fotkonstruktion (**Figur 3a**).

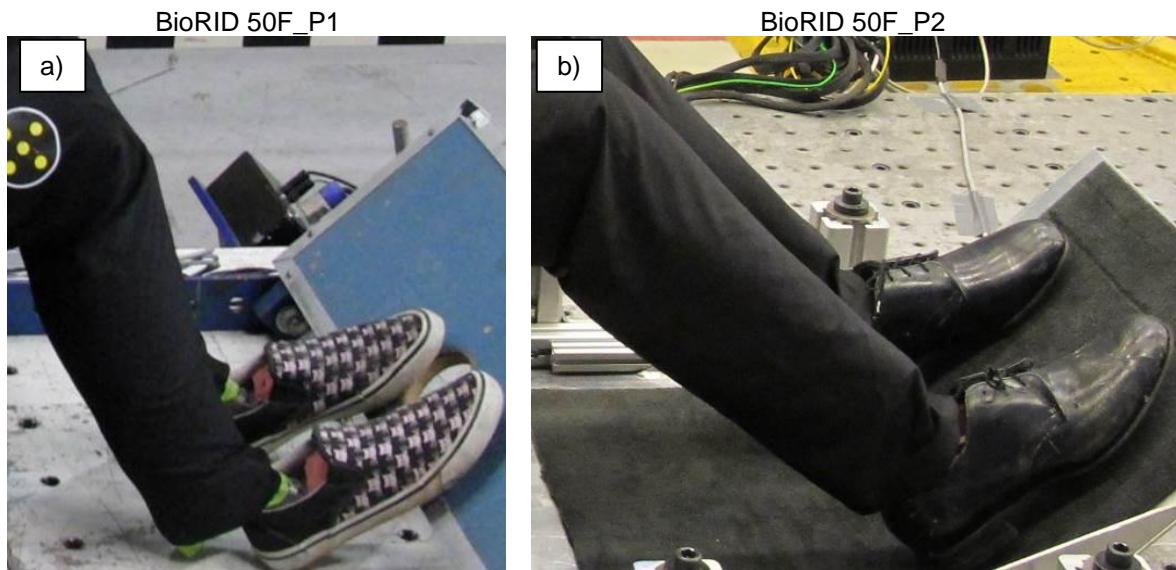
Krockdockan Hybrid III 5F har underben vars längd (avstånd mellan golv och knäled) är 49 mm kortare, men vars vikt (förvånansvärt nog) är 0.54 kg tyngre, jämfört med den 50-percentila kvinnans (**Tabell 3**). Fötterna är någorlunda lika i vikt (0,73 kg jämfört med 0,62) och längd (22.61 cm jämfört med 23.51).

Humanetics skänkte underben inklusive fötter från Hybrid III 5F till projektet. Omarbetningen av underbenen (dvs 4.9 cm förlängning) gjordes på Autolivs Centralverkstad i Vårgårda. Resultatet visas i **Figur 3b**.

Tabell 3. Jämförelser av underbenens/fotens dimensioner för en Hybrid III 5-percentil kvinna, en BioRID II 50-percentil man, samt en 50-percentila kvinna.

Lower Leg measures	Hybrid III				BioRID II	
	5-percentil kvinna		50-percentil kvinna		50-percentil man	
Vikt (underben+fot)	4.06 ¹⁾	kg	3.52 ²⁾	kg	5.44 ⁵⁾	kg
Vikt (underben)	3.27 ¹⁾	kg	2.82 ²⁾	kg	3.59 ⁶⁾	kg
Vikt (fot)	0.73 ¹⁾	kg	0.62 ²⁾	kg	0.98 ⁶⁾	kg
Knäled-höjd ("pivot height")	40.64 ¹⁾	cm	45.5 ³⁾	cm	49.30 ⁵⁾	cm
Fotbredd	8.64 ¹⁾	cm	9.2 ⁴⁾	cm	9.91 ⁵⁾	cm
Fotlängd	22.61 ¹⁾	cm	23.51 ⁴⁾	cm	25.91 ⁵⁾	cm

- 1) <http://www.humaneticsatd.com/crash-test-dummies/frontal-impact/hybrid-iii-5th..>
- 2) Beräknad vikt baserat på Young m.fl. (1983).
- 3) Diffrient m.fl. (1974)
- 4) Young m.fl. (1983)
- 5) <http://www.humaneticsatd.com/crash-test-dummies/rear-impact/biorid-ii>
- 6) Schneider m.fl. (1983)



Figur 3. a) Underben på BioRID 50F_P1 (nerskalade delar från BioRID 50M plus enkel ankel- och fotkonstruktion).
b) Underben på BioRID 50F_P2 (modifierade delar från Hybrid III 5F).

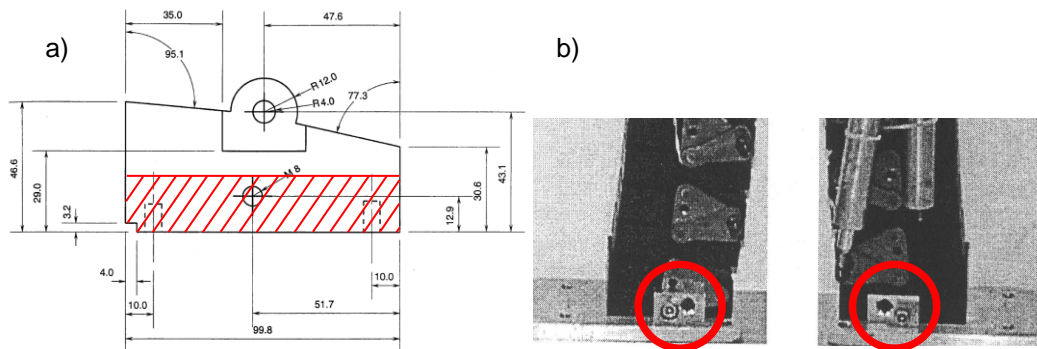
Infästningen ovanför knäet mot låret är samma för Hybrid III 5F och BioRID 50F_V2 och behöver därför inte justeras. Dock blir det en ganska markant kant mellan den nedre delen av låret (från Hybrid III 5F) och den övre delen av låret (från BioRID 50M) som måste åtgärdas för att inte ge en påverkan under krockprovning (dvs om kanten hakar i stolssitsen). Vidare måste övre delen av låret viktas upp 0.9 kg för att den totala vikten på benet skall bli den samma som för BioRID 50F_V1. Denna uppviktning gjordes genom att grova spikar hamrades in i övre delen av låret, parallellt med benet. Sedan slitsades "fläsket" upp och drogs ihop med hjälp av en stor slangklämma i nederkanten. Slutligen virades ett tjockt lager med silvertejp runt låret för att övergången skulle bli så jämn som möjligt (**Figur 4**).



Figur 4. Över- och underben på BioRID 50F_P2 (övre delen av låret nerskalade delar från BioRID 50M; nedre delen av låret samt underbenet från Hybrid III 5F).

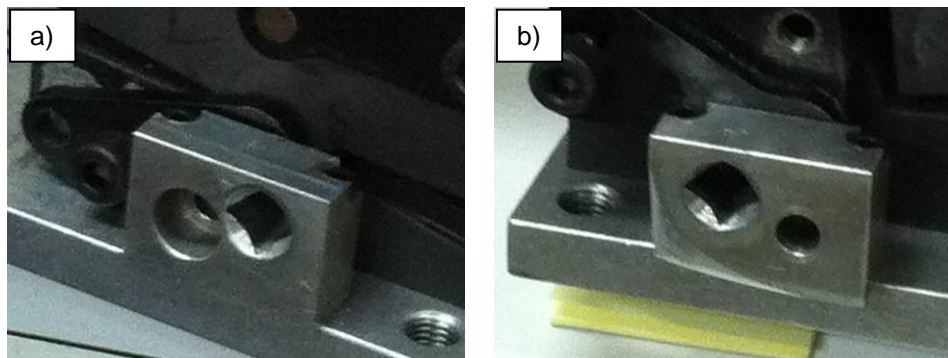
Förenklad inmätning av H-punkten (fanns ej med i ursprungliga projektplanen)

Vid konstruktionen av BioRID 50F_P1 kapades 20 mm av den nedre delen av den nedersta kotan (S1) (**Figur 5a**), och därmed försvann infästningshålerna till två metallklossar som var placerade på var sida om ryggraden. Dessa metallklossar har en viktig funktion vid inmätning av krockdockor, då den sk H-punktsmätaren passas in i dem (**Figur 5b**).



Figur 5. a) Nedersta kotan, S1, är avkapad 20 mm och därmed försvann det gängade hålet som fäster metallklossen som H-punktspinnen skall passas in i. b) De två metallklossarnas placering i en BioRID 50M.

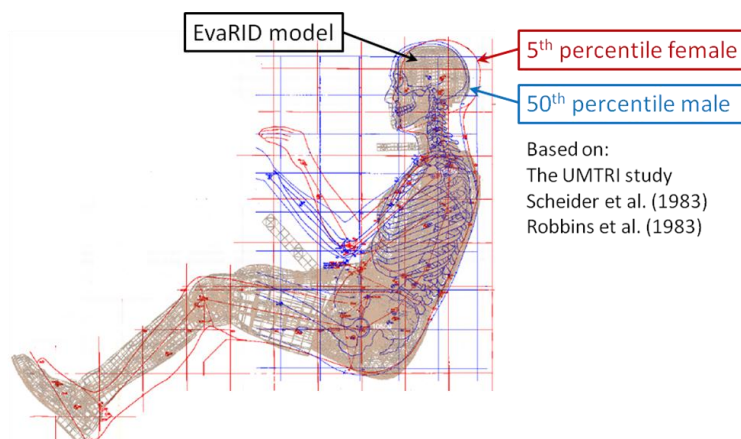
För att förenkla inmätningen av H-punkten i BioRID 50F_P2 har de två metallklossarna blivit fastmonterade med skruvar direkt på bottenplattan (**Figur 6**). Två vertikala hål borrades genom varje kloss och motsvarande fyra gängade hål gjordes i bottenplattan. Som framgår av figuren skjuter den högra klossen ut lite mer över kanten på bottenplattan jämfört med den vänstra. Det bakre, nedre hörnet på metallklossen har därför filats ner något för att den inte skall skava på gummistrukturerna i pelvis (höftpartiet).



Figur 6. Metallklossarnas placering på bottenplattan a) vänster sida b) höger sida i BioRID 50F_P2.

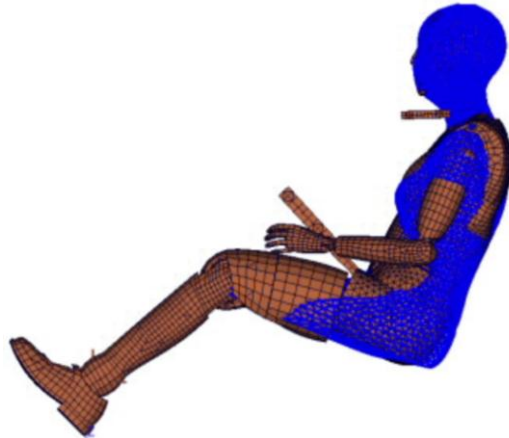
Justering av ryggradens kurvatur

BioRID 50F_V1 har ryggradskurvatur som BioRID II; den enda skillnaden är att ryggraden är kortad med 1) två ländkotor samt 2) 20 mm av sakrum-kotan. Studier har dock visat att kvinnor föredrar att sitta i en mer upprätt position, med huvudet placerat närmare huvudstödet, jämfört med män. Ett exempel på detta visas i **Figur 7**, där en uppskalad 5-percentil kvinna (röd kontur) och en nedskalad 50-percentil man (blå kontur) jämförs med en FE modell (EvaRID) som motsvarar BioRID50F-prototypen i storlek.



Figur 7. Jämförelser av en uppskalad 5-percentil kvinna (röda konturer), en nedskalad 50-percentil man (blå konturer) och en FE modell (EvaRID) som motsvarar BioRID50F-prototypen i storlek.

BioRID 50F:s ryggradskurvatur behöver därför justeras för att bättre överensstämma med en kvinnas sittställning. Kontakter togs med University of Michigan Transportation Research Institute (UMTRI) och vi fick därifrån tillgång till en genomsnittlig 3D-yta av en sittande 50-percentil kvinna som är baserad på ett större antal kroppsscanningar. **Figur 8** visar en jämförelse mellan denna yta (blå färg) och FE-modellen EvaRID (brun färg) som motsvarar BioRID 50F i storlek. Som framgår av figuren finns en god matchning mellan de två ytorna, även om EvaRID-modellen förefaller sitta aningen mer bakåtlutad jämfört med UMTRI-kvinnan. Man kan även notera att EvaRID-modellen verkar ha ett något större huvudstödsavstånd.



Figur 8. Jämförelser mellan en 3D-yta av en 50-percentil kvinna baserat på data från UMTRI (blå kontur) och en FE-modell, EvaRID (som motsvarar BioRID 50F-prototypen i storlek).

Vid en närmare granskning av UMTRIs provmetod framkom det dock att kvinnorna haft en upprätt sittposition under själva kroppsscanningen, och att modellen i efterhand har roterats bakåt för att efterlikna sittpositionen i ett bilsäte. På grund av osäkerheten om huruvida denna 3D-yta har en representativ sittposition togs ett beslut att istället använda den 5-percentila kvinnans ryggekter enligt en tidigare UMTRI-studie ([Schneider m.fl. 1983](#), [Robbins m.fl. 1983](#)). Dessa data var baserad på mätningar av 25 kvinnliga försökspersoner som satt i körposition i en hård stolsform, vars form var baserad på avgjutningar av en bilstol av standardmodell. Försökspersonerna hade händerna placerade på en ratt och fötterna på ett vinklat fotstöd.

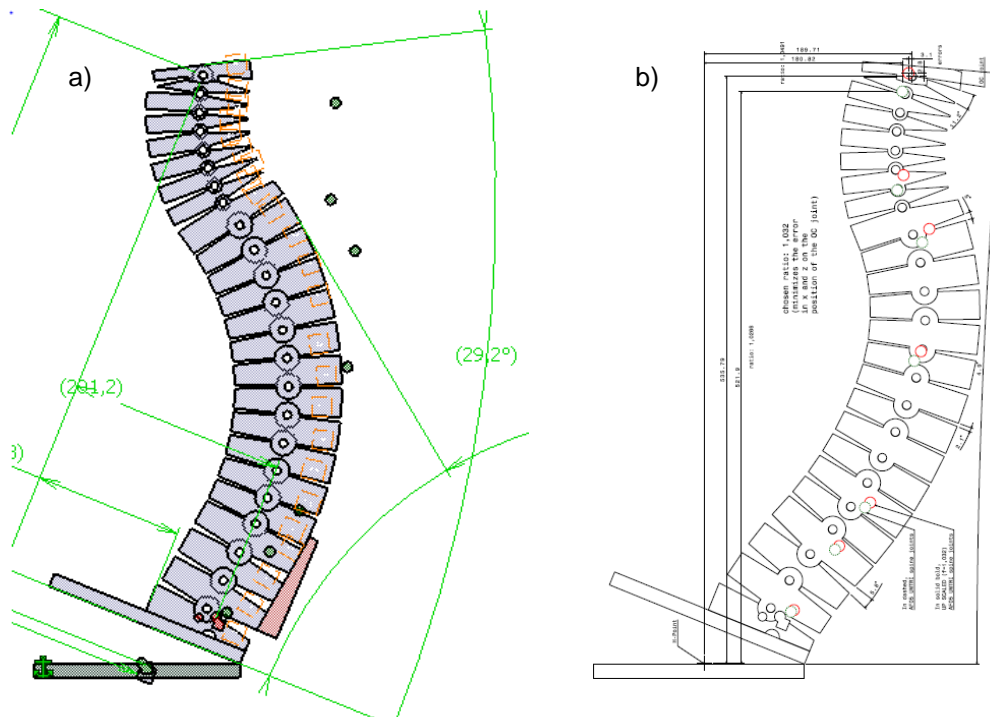
En CAD-modell av BioRID 50F:s ryggrad genererades med utgångspunkt från ritningarna för BioRID 50M ([Davidsson 1999](#)) för att möjliggöra en anpassning av ryggradens kurvatur (**Figur 9a**). En kilformad struktur infogades vid ryggsletet (markerad med röd färg i figuren) för att kompensera för gummitorsions varierande tjocklek längs ryggraden. Basplattan roterades sedan 22° bakåt för att efterlikna ryggradens vinkling vid normal sittposition i bilstol (baserat på [Figur 3-23](#) i [Schneider et al. 1983](#)). Koordinaterna för åtta olika ledpunkter hos den 5-percentila kvinnan ([Schneider et al. 1983](#), [Robbins et al. 1983](#), **Tabell 4**) adderades till CAD-modellen (gröna punkter i **Figur 9a**), där H-punkten användes som gemensam utgångspunkt.

För att få BioRID 50F:s ryggradskurvatur att överensstämma med den 5-percentila kvinnans, delades ryggraden in i tre sektioner; lumbal, nedre thorax, och övre thorax (**Figur 9a**). Varje sektion hade en specifik vinkel mellan kotorna, och genom att variera dessa vinklar kunde ryggradens kurvatur justeras. Förutom att vinklarna mellan kotorna ändrades, skalades även ledpunktskoordinaterna upp för att göra en anpassning till BioRID 50F:s ryggradslängd (**Tabell 4**). Dessa två typer av parametrar (dvs vinkeländring och uppskalning av koordinater) optimerades i en iterativ process med målet att ledpunkten mellan huvud och nacke (OC) skulle sammanfalla, att OC-vinkeln inte skulle överstiga 5°, samt att man skulle uppnå en god överensstämmelse av ryggradskurvaturen. Dessa villkor uppfylldes för kombinationen:

- Skalfaktor: 1,032
- Lumbal-vinkel: 5.8°
- Nedre thorax-vinkel: 2.1°
- Övre thorax-vinkel: 4.9°

vilket resulterade i OC-vinkeln 4,9°. Den slutliga ryggradskurvaturen för BioRID 50F_V2 (inklusive vinkelangivelser) visas i **Figur 9b**.

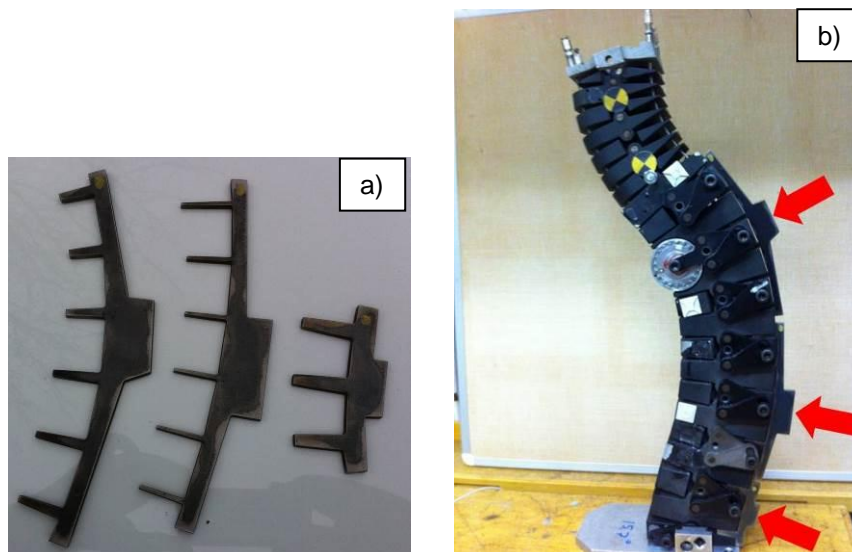
Med utgångspunkt från den slutliga ryggekturen, gjordes ett verktyg (**Figur 10a**) som användes för att ställa in kotvinklarna på BioRID 50F_V2 (**Figur 10b**).



Figur 9. a) CAD-modell av BioRID 50F:s ryggrad, samt ledpunkter (gröna punkter) för den 5-percentila kvinnan enligt UMTRI-studien (Schneider et al. 1983). b) Slutlig rygghkurvatur för BioRID 50F_V2, samt uppskalade ledpunkter (röda cirklar).

Tabell 4. Ledpunkternas koordinater för den 5-percentila kvinnan enligt UMTRI-studien (Schneider et al. 1983), samt koordinater uppskalade med en faktor 1,032.

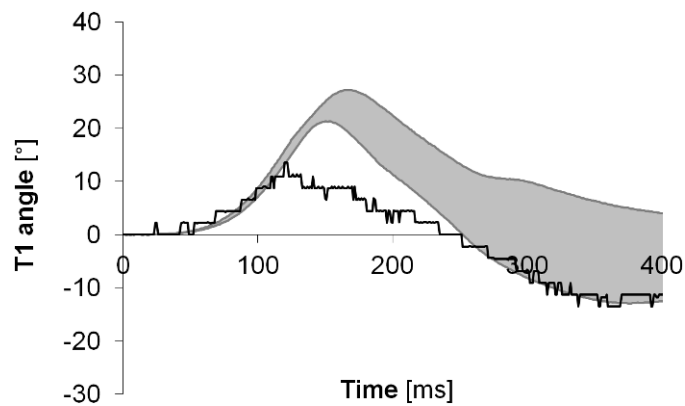
Ledpunkter	5-percentil kvinna (Schneider et al. 1983)		Uppskalade Koordinater (faktor 1,032)	
	X	Z	X	Z
Huvud/Nacke (OC)	-189	519	-195,0	535,6
C7/T1	-183	429	-188,9	442,7
T4/T5	-205	381	-211,6	393,2
T8/T9	-196	273	-202,3	281,7
T12/L1	-149	140	-153,8	144,5
L2/L3	-121	102	-124,9	105,3
L5/S1	-80	46	-82,6	47,5
H-punkt	0	0	0,0	0,0



Figur 10. a) Verktyg för justering av ryggradskurvaturen i BioRID 50F_V2. b) Justering av ryggradskurvatur på BioRID 50F_V2 med hjälp av verktygen (markerade med pilar).

Justering av ryggradens styvhet

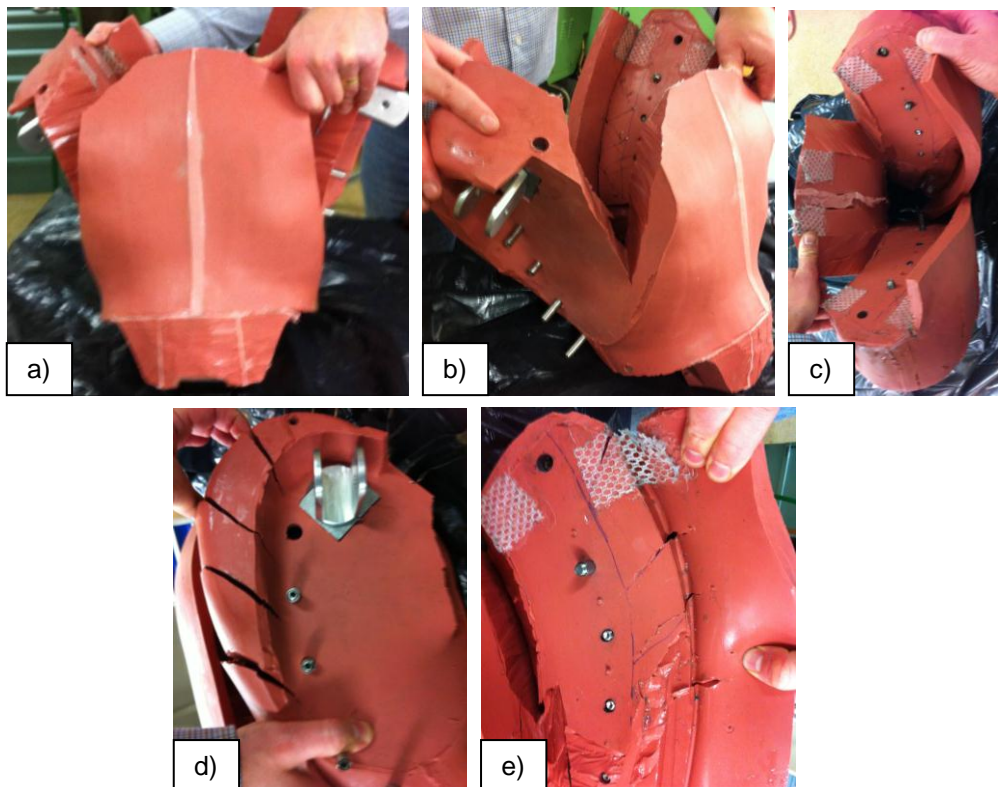
Vid en utvärdering av BioRID50F_V1 jämfördes dess dynamiska respons med kvinnliga volontärers respons i krockprov. Man fann då att prototypens överkropp har en mindre bakåt-rotation jämfört med volontärerna (**Figur 11**). Detta innebär att ryggraden styvhet är för hög och behöver minskas.



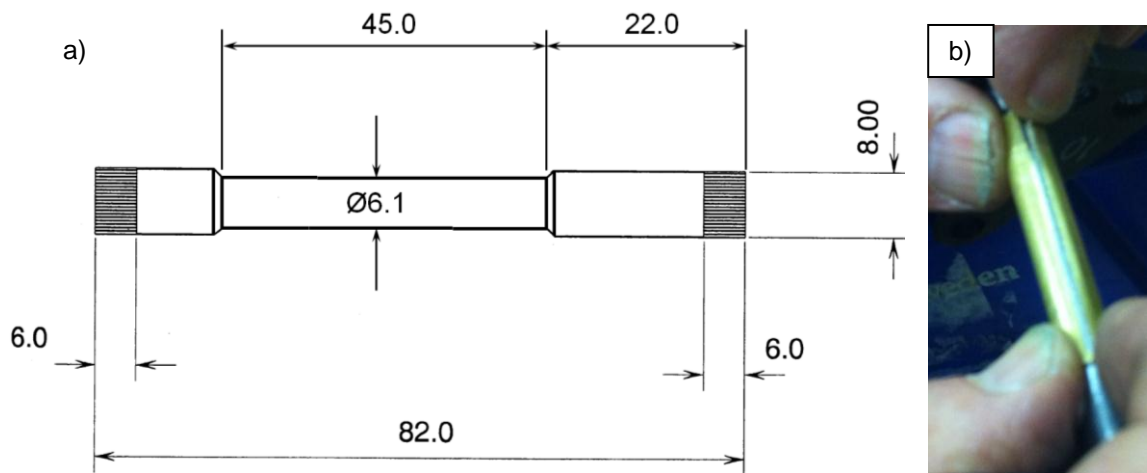
Figur 11. Överkroppens rotation hos den ursprungliga BioRID50F (heldragen svart linje) och kvinnliga volontärer (grå korridor).

Följande förändringar gjordes i syfte att minska styvheten i ryggraden:

- 1) Gummi-mellanläggen togs bort från de 9 översta thorax-kotorna.
- 2) Djupa jack skars i gummi-torson för att minimera dess påverkan på dockans rörelse under krockprov (**Figur 12**).
- 3) De 10 översta torsionsstavarnas styvhet minskades till hälften genom att svarva ner diametern från 8 mm till 6.1 mm (**Figur 13a**). Anledningen till att vi valde en halvering av styvheten baserades på statisk provning som beskrivs i nästa avsnitt. För att kompensera för den minskade diametern tillverkades hylsor i mässing som placerades runt torsionsstavarna innan de monterades tillbaka i ryggraden (**Figur 13b**).



Figur 12. Djupa jack skars i gummitorson i syfte att minska dess styvhet. a) Frontvy. b) Sidovy (snett framifrån) c) Toppvy d) Sidovy (snett bakifrån) e) Innervy (bakre delen).



Figur 13. a) Ritning över den modifierade torsionsstaven. b) Torsionsstav med tillhörande mässingshylsa.

Statisk provning böjstyvhet i överkropp och ryggrad

En serie med totalt tolv statiska prov, sex dragprov (Figur 14a) och sex momentprov (Figur 14b), utfördes på EvaRIDs torso (med huvud; utan armar). Under provserien var torson fastmonterad i en provrigg avsedd för kalibrering av BioRID. För att kompensera för EvaRIDs avkortade ryggrad höjdes infästningen med 80 mm för att geometrin skulle vara likvärdig med den för BioRID. Provingen utfördes i sex olika uppsättningar där gummijackan, gummikuddarna och torsionsstavarna varierades enligt matris (Tabell 5). Resultaten från proverna i Provuppsättning 1–3 användes som underlag för tuningen av styvhetsparametrarna. Provuppsättning 4–6 användes för att kontrollera utfallet av de införda styvhetsändringarna.

1) Dragprov (kraft – linjär rörelse):



2) Momentprov (moment – vinkeländring):



Figur 14. Provuppsättning – statiska prov a) Dragprov b) Momentprov. Vit pil symboliserar applicerad kraft.

Tabell 5. Provmatris – statiska prov.

Provuppsättning	Gummijacka	Gummikuddar	Torsionsstavar
1	Original	Med	Original
2	Utan	Med	Original
3	Utan	Utan	Original
4	Uppskuren	Utan	Original
5	Uppskuren	Utan	Nedsvarvade
6	Utan	Utan	Nedsvarvade

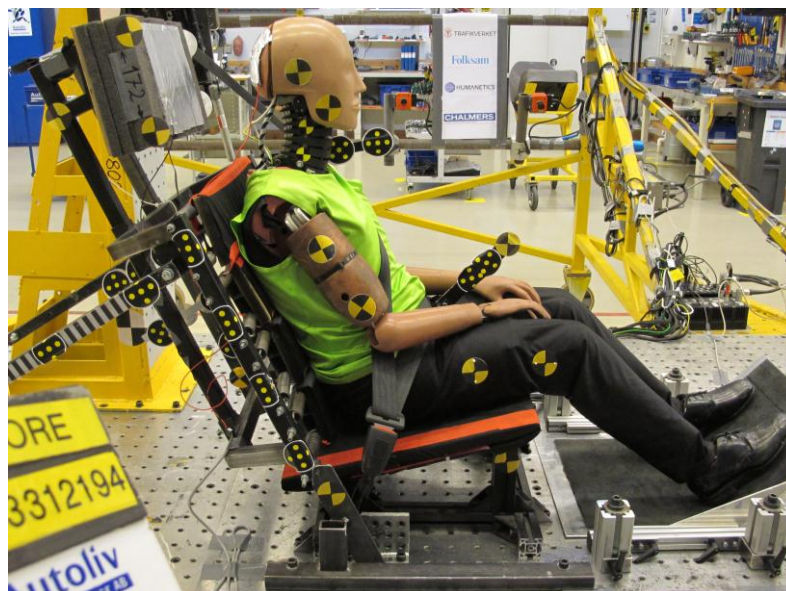
Dynamisk provning för verifiering av dockans bio-fidelitet

En serie med totalt tre slädprov (Δv 7 km/s; a_{medel} 2g) kördes med BioRID 50F i "Chalmers labstol" på Autoliv Sverige AB:s Krockbana 2 (Inverse Crash System, Mannesmann Rexroth AG, Germany) i november 2014. Samma provuppställning användes som vid en tidigare provserie med sex 50-percentila kvinnliga volontärer samt vid ett prov med BioRID 50F_V1 (Carlsson 2012). Syftet var att utvärdera den dynamiska responsen hos BioRID 50F efter genomförda förändringar av styvheten enligt provmatris (**Tabell 6**).

Tabell 6. Provmatris – dynamiska prov.

Prov Nr.	Gummijacka	Gummikuddar	Torsionsstavar
T-13312194	Uppskuren	Utan	Original
T-13312195	Uppskuren	Utan	Nedsvarvade
T-13312196	Uppskuren	Utan	Nedsvarvade

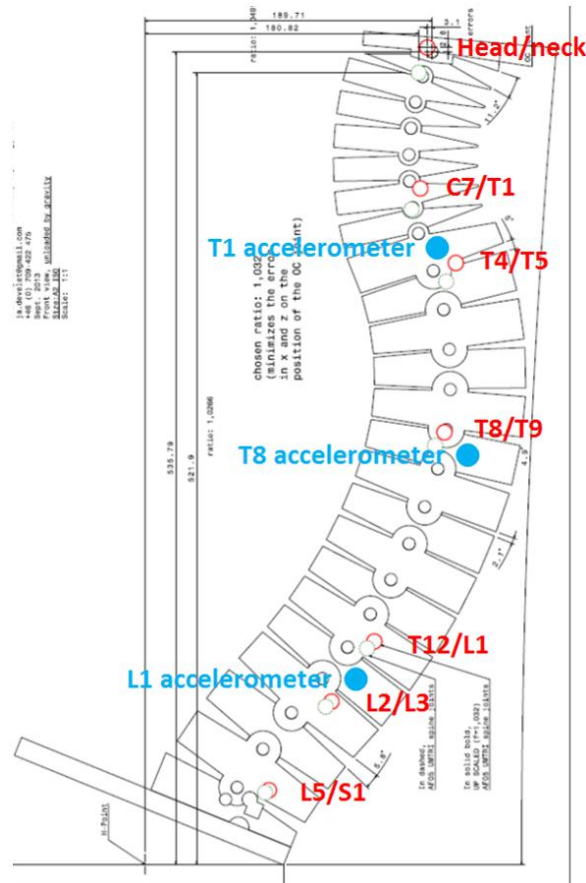
Chalmers labstol hade samma ryggstödskonstruktion som vid tidigare provserier (Davidsson m.fl. 1998; Carlsson m.fl. 2011). Ryggstödet bestod av fyra rektangulära aluminiumpaneler som täckta med 20 mm Tempur-skumgummi, som i sin tur var klädda med plysch-klädsel från en Volvo stol. Var och en av panelerna var fastmonterade i en fast ryggstödsram via fyra fjädrar; en i varje hörn av panelen. Ryggstödsvinkeln var justerad till 24°. Ryggstödskonstruktionen var avsedd att efterlikna en Volvo 850 med avseende på elasticitetsegenskaper och form, och var tillräckligt förenklad för att med relativt enkla medel kunna implementeras i en datormodell. Se Davidsson m.fl. (1999) för mer detaljer angående ryggstödskonstruktionen. Huvudstödet bestod av en plywood-panel (dimensioner: 350×230×20 mm) som var fastskruvad på en fast stålram. Huvudstödet var justerbart i höjddled, och var vinklat bakåt 12.4° relativt vertikallplanet. Huvudstödsavståndet ställdes in på 150 mm genom att lägga till padding på huvudstödet; 90 mm i prov T-13312194, 100 mm i prov T-13312195 och 130 mm i prov T-13312196 (**Figur 16**). Sitsen bestod av en fast aluminiumram som var täckt med en plywoodskiva (dimensioner: 500×500×20 mm), och vinklad 16.9° bakåt relativt horisontalplanet (**Figur 16**). Ett fotstöd var fastmonterat på släden för att efterlikna golvet i en bil (**Figur 16**). Ett trepunkts-bilbälte (vänsterbälte/förarplats) användes under provningen.



Figur 16. Provpställning – dynamiska prov.

BioRID 50F var utrustad med linjära accelerometrar i huvudet (x, y, z); första bröstkotan, T1 (x, z); åttonde bröstkotan, T8 (x, z); första ländkotan, L1 (x, z) och pelvis (x, y, z). Eftersom de två nedersta ländkotorna samt 20 mm av sakrum-kotan hade blivit borttagna på EvaRID 50F, placerades T8-accelerometern i motsvarande BioRID 50Ms T6-kota och L1-accelerometern i motsvarande BioRID 50Ms T12-kota (**Figur 17**). Vidare satt en tre-axiell kraft/momentgivare i övre nacken. Släden var utrustad med en 1-axiell accelerometer (x).

Huvudstödskontakten registrerades med en kontakt-switch. Koordinatsystemet var definierat enligt SAE J211, dvs x-axeln riktad framåt, y-axeln riktad åt höger och z-axeln riktad nedåt. En Kayser-Trede MiniDau enhet registrerade sensordatan med samplingfrekvensen 20 kHz, samt gjorde en förfiltrering av datan (anti-alias filtering: 6 pole Bessel-filter, 2.9 kHz). Slädaccelerationen filtrerades med CFC60, huvudaccelerationen med CFC1000 och T1-accelerationen med CFC 60, enligt SAE J211.



Figur 17. Placering av ryggradens accelerometrar i T1, T8 och L1 markerade i blått. Lederna C7/T1, T4/T5, T8/9, T12/L1, L2/L3 L5/S1 markerade i rött (baserat på Schneider m.fl. 1983).

Proverna filmades av tre digitala höghastighetskameror (Phantom V6.2; 512x512 pixels; 150 ms exponering) med en frekvens på 1000 bilder/s; en översiktsvy (bländarinställning 5.6) och en detaljvy (bländarinställning 8) från höger sida, samt en översiktsvy (bländarinställning 4) från vänster sida. Kamerorna var monterade ca 2.2 m från dockans huvud på en ställning som var förankrad i släden (dvs medååkande kameror). Programvaran Tema 3.12 användes för att digitalisera dockans dynamiska respons (ingen filtrering).

Mätsystemen och kamerorna triggades när en sk trigg-accelerator, som var monterad på släden, uppnådde accelerationen 2g. Denna tid har filmerna som T=0, medan sensordatan har en justerad T₀ (enligt Euro NCAP). För att sensordata och filmdata skall överensstämma i tid har därför trackad data manuellt justerats -5 ms.

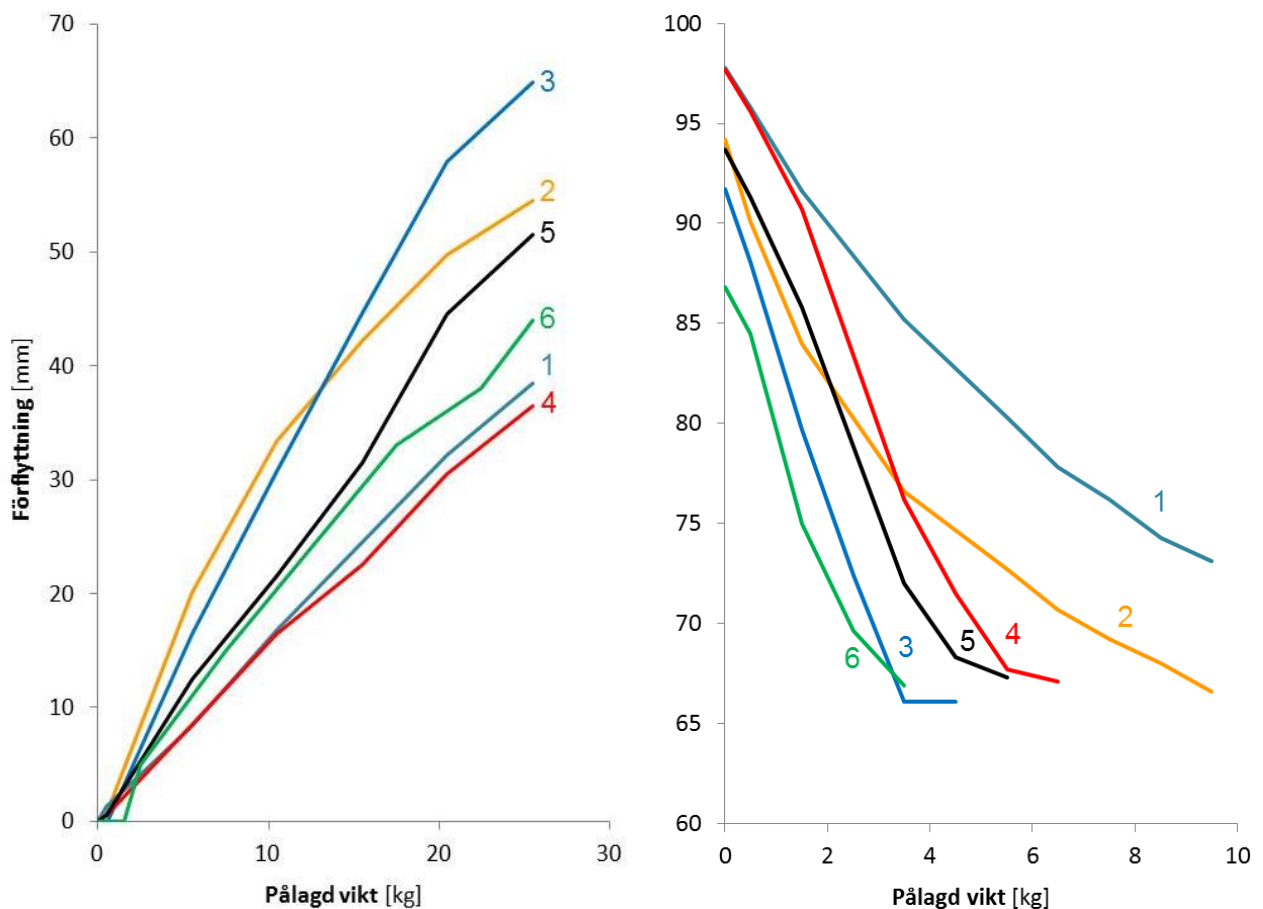
H-punkten bestämdes med hjälp av en H-punktsdocka (SAE-manikin: serial no. 365-HR, Automotive Accessories Ltd, Southampton, England; Huvudet: Head Restraint Measuring Device, HRMD-089, Insurance Corporation of British Columbia, RONA Kinetics and Associates Ltd, Vancouver, Canada). BioRID 50Fs H-punkt placerades sedan 20 mm längre fram och i samma höjd relativt SAE-manikins H-punkt. Höftvinkeln justerades så att den hamnade inom området för BioRID 50Ms höftvinkel (målområde: 26.5 ±1°; Euro NCAP: 26.5 ±2.5°). Huvudet positionerades horisontellt med avseende på en libell som var fastsatt på toppen på huvudet. T1-vinkeln noterades (mätt på T1-flaggan som var monterad 32° relativt baksidan av T1-kotan). I prov T-13312196 gjordes följande förändring vid positioneringen av BioRID 50F: överkroppen böjdes kraftigt framåt genom att hålla emot på magen. Detta medförde att T1-vinkeln ändrades från 2° (vinklad uppåt) till -2.8° (vinklad nedåt). Syftet var att öka bakåtrotationen i T1.

Resultatredovisning

Statisk provning av böjstyvhet i överkropp och ryggrad

Figur 18 visar resultaten från de statistiska provena. De olika kurvorna är betecknade med siffrorna 1–6, som avser de olika provuppsättningarna enligt **Tabell 5**. Övergripande resultat redovisas nedan i punktform.

- I dragprovning har frånvaron av den *oförändrade* gummijackan en direkt effekt i och med att kurvan blir brantare redan vid låga vikter (Prov 2 jämfört med Prov 1). Däremot har frånvaron av den *uppskurna* gummijackan (Prov 6 jämfört med Prov 5) inte någon större effekt förrän den pålagda lasten överstiger ~17 kg (**Figur 15a**). I momentprovning resulterar frånvaron av gummijacka en parallellförflyttning av kurvan (Prov 2 jämfört med Prov 1; Prov 6 jämfört med Prov 5) (**Figur 15b**).
- Frånvaron av gummikuddarna (Prov 3 jämfört med Prov 2) blir påtaglig först när man kommer upp till den pålagda vikten ~13 kg i dragprovning. I momentprovning resulterar frånvaron av gummikuddar och gummijacka (Prov 3 och Prov 6) i ett (någorlunda) linjärt samband mellan pålagd vikt och vinkelutslag (till dess att momentarmen slår i omgivande strukturer vid ca 64°).
- I dragprovning resulterade en uppskuren gummijacka inte i någon påtaglig skillnad gentemot oförändrad gummijacka (Prov 4 jämfört med Prov 1). I momentprovningen ser kurvorna initialt väldigt lika ut fram till en pålagd last på ~2 kg, och sedan går kurvorna ordentligt isär.
- Vid jämförelser mellan Prov 5 (motsvarande BioRID 50F_V2) och Prov 1 (motsvarande BioRID 50F_V1) ser vi att vi har fått en total reduktion av styvheten i storleksordningen 30% i dragprovning och 20% i momentprovning.

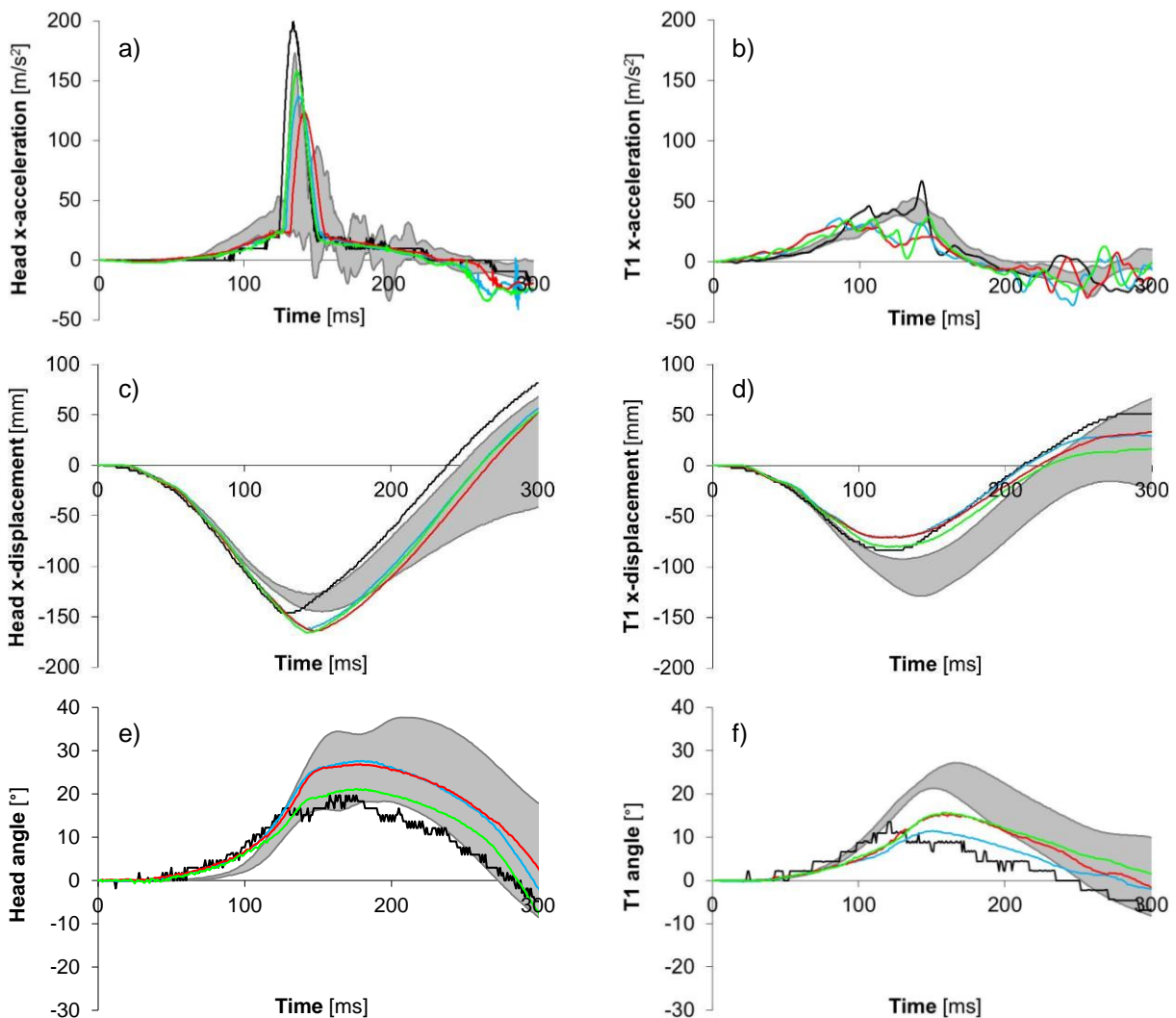


Figur 18. Resultat från den statistiska provningen a) dragprov b) momentprov.

Dynamisk provning för verifiering av dockans bio-fidelitet

Figur 19 visar resultaten från de dynamiska proverna enligt provmatris (**Tabell 5**); T-13312194 = blå kurvor, T-13312195 (BioRID 50F_V2) = röda kurvor och T-13312196 = gröna kurvor. Jämförande resultat från prov med 50-percentila kvinnliga volontärer är representerade med grå korridorer, och prov med BioRID 50F_V1 med svarta kurvor. Övergripande resultat redovisas nedan i punktform.

- Huvudaccelerationen i BioRID 50F_V2 (röd kurva) har gått ner och ligger huvudsakligen inne i korridoren.
- Accelerationen i T1 går upp fint, men tappar i storlek efter ca 110 ms.
- Horisontella huvudrörelsen relativt släden är något större (ca 1.5-2 cm) jämfört med tidigare prov.
- Horisontella T1-rörelsen relativt släden är i ungefär samma som i tidigare prov med BioRID 50F_V1 (svart kurva) (ca 3-5 cm för liten jämfört med volontärerna).
- Bakåtrotationen av huvudet startar tidigare jämfört med volontärerna, och ligger från ca 110 ms huvudsakligen inom korridoren. Bakåtrotationen har ökat något jämfört med BioRID 50F_V1 (svart kurva).
- Bakåtrotationen av T1 går upp fint till en början, men börjar plana av efter ca 90 ms. Därefter går den upp ytterligare och man ser en förbättring på ca 5 grader jämfört med BioRID 50F_V1 (svart kurva). Dock återstår ytterligare bakåtrotation på ca 7 grader innan man kommer upp i volontärernas nivåer.



Figur 19. Slädprovning (upphinnandekollisioner) med volontärer (grå korridorer), BioRID 50F_V1 (svart linje) och BioRID 50F_V2 (T-13312194 = blå; T-13312195 = röd; T-13312196 = grön).

Övriga noteringar under provningen:

- BioRID 50F verkar något "krökt" i sidled. Sett bakifrån, får pelvis vinklas upp medurs medan huvudet får vinklas moturs. Detta är inget stort problem, men värt att notera.
- BioRID 50F är lite "kobent" - knäfläsket på vänster sida är vinklat inåt och det blir ett större avstånd mellan fötterna jämfört med knäna. Detta är inget stort problem, men värt att notera.
- Vi får större avstånd till huvudstödet för BioRID 50F jämfört med BioRID 50M. Detta överensstämmer inte med vad vi har sett i volontärstudierna, där kvinnorna tenderar att sitta närmare huvudstödet jämfört med männen.

7. Slutsatser

- Den uppgraderade BioRID 50F_V2 har fått nya underben och underarmar med som ger en mer naturtrogen ytterkontur som förbättrar kontaktvillkoren och ger dessutom ett mer förtroendeingivande utseende. Sama sak gäller huvudet som nu har ett skinn som ger en mer naturtrogen ytterkontur och kontaktförhållanden.
- Rygggraden har fått en mycket viktig förbättring av ryggkonturen. Detta förbättrar tryckfördelningen mellan rygg och ryggstöd vilket är en viktig förutsättning för att ge en rättvisande utvärdering av ryggstödet förmåga att fånga upp överkroppen och rygggraden på ett skonsamt sätt.
- Det har skett en förbättring av bakåtroteringen i T1 jämfört med BioRID 50F_V1. Det återstår ytterligare 7 graders rotation för att helt uppnå samma nivåer som i volontärförsök.
- Vi ser även att den horisontella T1-rörelsen relativt släden är något för liten, och detta hänger troligen samman med den låga bakåtroteringen – hade T1 roterat mer bakåt hade även T1 rört sig bakåt.
- En anledning till att vi inte har fått upp rotationen i T1 tillräckligt kan vara att vi har krökt om och rätat upp rygggraden på BioRID 50F_V2, och därmed har T1 redan i startpositionen hamnat i ett läge närmare stolsryggen.
- En annan anledning till att vi inte har fått upp rotationen i T1 kan vara att höjden på T1 inte samma för BioRID 50F som för 50-percentila kvinnor. Uppskattningsvis är T1 i storleksordningen 2-3 cm för lågt placerad på grund av den nuvarande konstruktionen av BioRID 50Fs rygggrad. Hela anpassningen av sitthöjden i nuvarande prototyp har gjorts på ryggen mellan T1 och pelvis, men ingen anpassning har gjorts när det gäller längden på halsen eller höjden på huvudet. För att få sitthöjden rätt togs de två nedersta ländkotorna, samt 20 mm av sakrum-kotan, bort. Ett förslag för att ytterligare förbättra nuvarande docka är att öka höjden på sakrum-kotan 2-3 cm och göra motsvande minskning på halslängden. På så sätt kommer T1 att hamna högre upp relativt stolsryggen och röra sig mer bakåt, ännu mer likt volontärresultaten. En framtida fullt utvecklad kvinnlig krockdocka behöver byggas med nya komponenter från grunden så att rygggradens sektioner blir exakt anpassade till en genomsnittlig kvinnas mått. Då kommer T1 kotan att få rätt höjd. Ett sådant projekt beräknas dock kosta 15 miljoner kronor.

8. Hur spridning och återföring av resultatet och erfarenheter av projektet sker

Det första nyttiggörandet av den uppgraderade BioRID50F_V2 är användningen av dockan i en pågående studie i samverkan mellan Chalmers och Folksam Forskning.

Syftet med denna fortsatta studie är att jämföra den mekaniska responsen och interaktionen med krockdockan hos bilstolar från några utvalda bilmodeller. Den skadereducerande effekten, för kvinnor respektive män, hos de utvalda bilmodellerna uppskattas från Folksams olycksdata.

Krockprov genomförs på Autoliv's krocksläde med BioRID50F_V2 och BioRID II för att studera vilka parametrar i dockornas rörelse och nackbelastningar som visar en skillnad mellan den kvinnliga och den manliga dockan och som kan tänkas korrelera med skaderisken i verkliga upphinnande-kollisioner i Folksams databas. Vi räknar med att detta projekt ska leda till en vetenskaplig publikation.

Det nästa nyttiggörandet blir en provserie på Autoliv i samarbete med Folksam Forskning där vi kommer att studera effekten av nackskyddets inställning på nackbelastningen i de två dockstorlekarna.

Vi har härutöver fått förfrågningar från Japan Automobile Institute (JARI) samt Toyota Europé om möjligheten att få låna dockan för provning. Vi har gett positivt svar och kommer att inleda mer detaljerade diskussioner

om hur detta utbyte kan utformas. Även företaget MEA Forensic i Vancouver, Kanada, har hört sig för om möjligheten att låna dockan.

Vår ambition är att visa på nyttan/behovet och skapa intresse kring prototypen BioRID 50F så att vi ska kunna hitta finansiering för att göra en fullvärdig krockdocka motsvarande en genomsnittlig kvinna.

9. Kunduppgifter

Anna Carlsson
Division of Vehicle Safety
Department of Applied Mechanics
Chalmers University of Technology
SE-402 78 Göteborg
Sweden
Phone: +46 31 772 3650
anna.carlsson@chalmers.se

Mats Y. Svensson
Division of Vehicle Safety
Department of Applied Mechanics
Chalmers University of Technology
SE-402 78 Göteborg
Sweden
Phone: +46 31 772 3644
mats.svensson@chalmers.se

10. Referenser

- Carlsson A, Linder A, Davidsson J, Hell W, Schick S, Svensson M. Dynamic kinematic responses of female volunteers in rear impacts and comparison to previous male volunteer tests. *Traffic Inj Prev.* 2011;12:347–357.
- Carlsson A, Chang F, Lemmen P, Kullgren A, Schmitt K-U, Linder A, Svensson MY (2012) *EvaRID - A 50th Percentile Female Rear Impact Finite Element Dummy Model*. Paper presented at: IRCOBI Conference; September 12–14, 2012; Dublin, Ireland.
- Carstensen TB, Frosthalm L, Oernboel E, Kongsted A, Kasch H, Jensen TS, Fink P. Are there gender differences in coping with neck pain following acute whiplash trauma? A 12-month follow-up study. *Eur J Pain.* 2012;16:49–60.
- Chapline JF, Ferguson SA, Lillis RP, Lund AK, Williams AF. Neck pain and head restraint position relative to the driver's head in rear-end collisions. *Accid Anal Prev.* 2000;32:287–297.
- Davidsson J, Deutscher C, Hell W, Svensson MY, Linder A, Lövsund P. *Human volunteer kinematics in rear-end sled collisions*. Paper presented at: IRCOBI Conference; September 16–18, 1998; Göteborg, Sweden.
- Davidsson J. *BioRID II – Final Report. 1999*. Department of Machine and Vehicle Design, Crash Safety Division, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden.
- Diffrient N, Tilley AR, Bardagjy JC. *Humanscale 1/2/3 – a portfolio of information*. The MIT Press; 1974; Cambridge, MA.
- Kihlberg JK. *Flexion–torsion neck injury in rear impacts*. Paper presented at: 13th AAAM Conference; October 16–17, 1969; Minneapolis, Minnesota, USA.
- Krafft M, Kullgren A, Lie A, Tingvall C. The risk of whiplash injury in the rear seat compared to the front seat in rear impacts. *Traffic Inj Prev.* 2003;4:136–140.
- Morris AP, Thomas PD. *Neck injuries in the UK co-operative Crash Injury Study*. Paper presented at: 40th Stapp Car Crash Conference; November 4–6, 1996; Albuquerque, New Mexico.
- Narragon EA. *Sex comparisons in automobile crash injury*. CAL Report No. VJ-1823-R15; 1965; Cornell Aeronautical Laboratory, Inc. of Cornell University, Buffalo, New York, USA.
- O'Neill B, Haddon W, Kelley AB, Sorenson WW. Automobile head restraints—frequency of neck injury claims in relation to the presence of head restraints. *Am J Public Health.* 1972;62:399–405.
- Otremski I, Marsh JL, Wilde BR, McLardy Smith PD, Newman RJ. Soft tissue cervical injuries in motor vehicle accidents. *Injury.* 1989;20:349–351.
- Robbins DH. *Anthropometric specifications for mid-sized male dummy*. Final Report, UMTRI-83-53-2; University of Michigan Transportation Research Institute; 1983a; Ann Arbor, Michigan, USA.
- Robbins DH. *Anthropometric specifications for small female and large male dummies*. Final Report, UMTRI-83-53-3; University of Michigan Transportation Research Institute; 1983b; Ann Arbor, Michigan, USA.

- Storvik SG, Stemper BD, Yoganandan N, Pintar FA. Population-based estimates of whiplash injury using NASS CDS data. *Biomed Sci Instrum*. 2009;45:244–249.
- Schneider LW, Robbins DH, Pflüg MA and Snyder RG. *Development of anthropometrically based design specifications for an advanced adult anthropomorphic dummy family*. Final Report, UMTRI-83-53-1; University of Michigan Transportation Research Institute; 1983; Ann Arbor, Michigan, USA.
- Temming J, Zobel R. *Frequency and risk of cervical spine distortion injuries in passenger car accidents: significance of human factors data*. Paper presented at: IRCOBI Conference; September 16–18, 1998; Göteborg, Sweden.
- Thomas C, Faverjon G, Hartemann F, Tarriere C, Patel A, Got C. *Protection against rear-end accidents*. Paper presented at: IRCOBI Conference; September 8–10, 1982; Cologne, Germany.
- Young JW, Chandler RF, Snow CC, Robinette KM, Zehner GF, Lofberg MS. *Anthropometric and mass distribution characteristics of adult female body segments*. Federal Aviation Administration, Civil Aeromedical Institute; 1983; Oklahoma City, OK, USA.