www.associazionecaregiver.it

CAReGIVER

SAPERE PER CONDIVIDERE

I manichini usati nei crash test

AUTORE : **Luigi Piano**

Nelle vetture del passato il mestiere del manichino era molto pericoloso

Significant improvements in vehicle safety have been made over the past half-century, in large part because of research using crash test dummies. The photos show the result of a 40-mph crash test between a 1959 Chevrolet Bel Air (left) and a 2009 Chevrolet Malibu. In the Bel Air, the steering column was forced into the face of the dummy, and paint marks where the dummy's head hit the steering wheel, dashboard and roof. The dummy in the Malibu fared much better.

Oggi i manichini rischiano molto poco

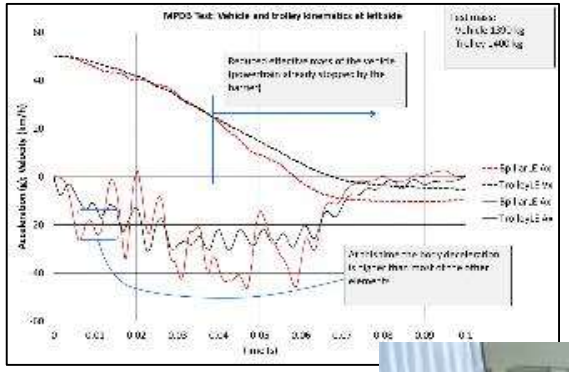
Sommario

1. Perché nei crash test si usano i manichini
2. Sviluppo dei primi manichini e delle conoscenze sulla resistenza del corpo umano
3. I manichini per l'automobile
4. Dettagli sui manichini
5. Manichini comunemente usati per sviluppare la sicurezza delle vetture. Altri manichini rappresentativi di importanti categorie di persone o per approfondire specifiche tematiche.
6. Strumentazione, dati acquisiti e biofedeltà dei manichini
7. Valutazione del rischio di lesioni
8. I manichini nello sviluppo dei sistemi di ritenuta
9. Produzione e costo dei manichini
10. I manichini numerici
11. I modelli numerici del corpo umano

Perché nei crash test si usano i manichini

Come si valuta il risultato di un crash test

1) Decelerazione della vettura



2) Deformazioni dell'abitacolo

3) Valori biomeccanici forniti dai manichini

Valori biomeccanici

Rischio di lesioni

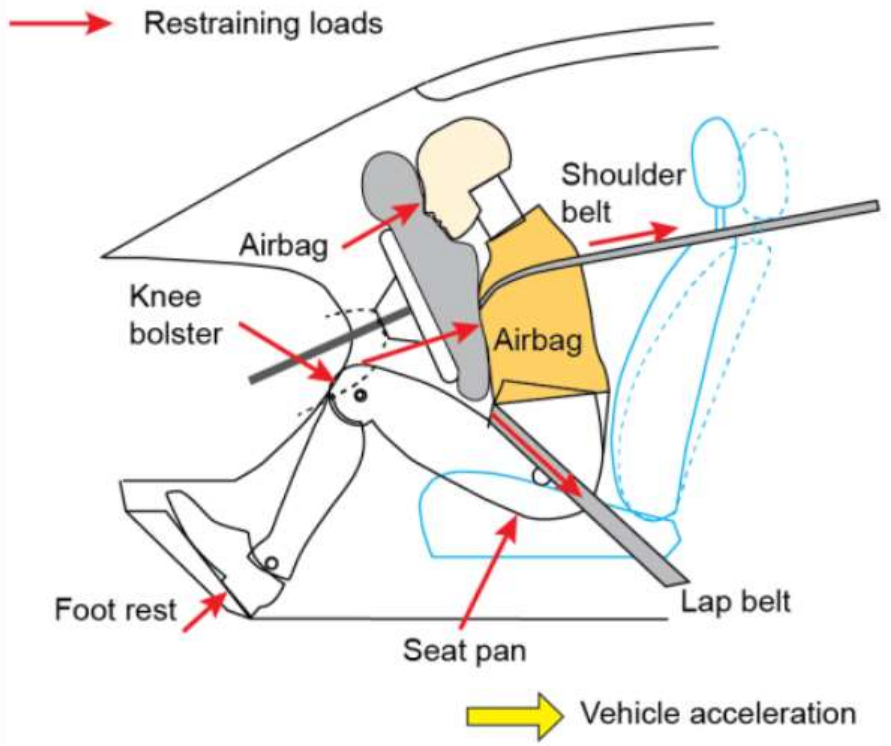
Biomechanical data			Frontal Impact Driver (HIII 50M) Test result	Risk of injury
Head	HIC15	-	350	1.56%
Neck	Nij	-	0.50	9.60%
	Tension	kN	2.085	0.24%
	Compression	kN	2.0	0.20%
Chest	Deflection	mm	31.5	5.48%
Femur	Compression	kN	5.0	3.93%
Joint Probability of Injury				19.19%

- **Senza le informazioni dei manichini, la decelerazione vettura e le intrusioni in abitacolo danno warning importanti ma non consentono un giudizio accurato sulla sicurezza degli occupanti.**
- **I valori biomeccanici invece ci dicono quali sono i rischi di lesione alle varie parti del corpo.**

Senza i manichini oggi avremmo vetture meno sicure e non avremmo elementi precisi sul rischio di lesioni a bambini, donne e uomini

Senza i manichini non sarebbe neanche stato possibile sviluppare adeguati sistemi di ritenuta:

- Bag con forme e capacità di assorbimento ottimizzate
- Percorso cinture idoneo per trattenere correttamente gli occupanti
- Pretensionatori
- Limitatori di carico
- Plance non aggressive per le ginocchia
- Sedili con anti-submarining
- …….



Sviluppo dei primi manichini e delle conoscenze sulla resistenza del corpo umano

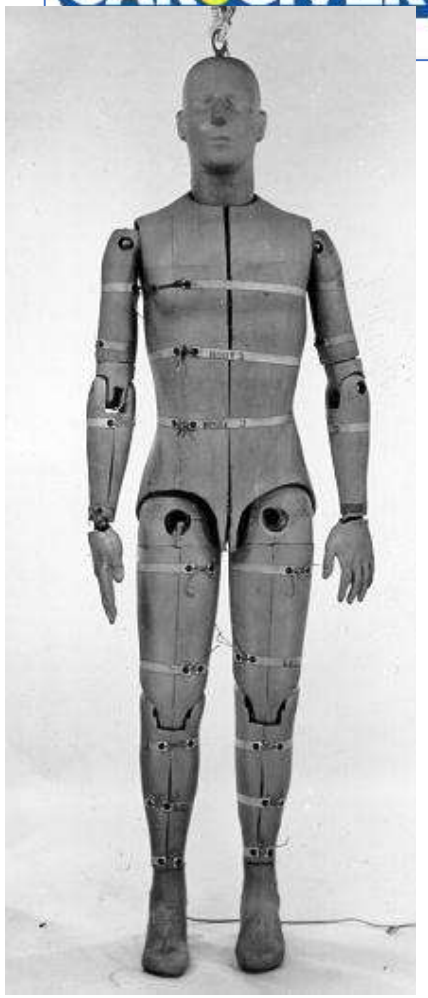
La nascita dei manichini: esigenze e difficoltà

Prime esigenze di manichini

1. Alla fine degli anni 40 l'aeronautica USA aveva bisogno di valutare il comportamento del corpo umano – rischio di lesioni severe – sotto la forza dei sedili eiettabili dei caccia.
2. I manichini – replica grossolana del corpo umano – erano lo strumento necessario (ma ancora da sviluppare).

Difficoltà a sviluppare manichini biofedeli

- Il corpo umano è molto complicato → Difficile da replicare con strutture meccaniche
- Le conoscenze sulle caratteristiche di resistenza (del corpo umano) erano a quel tempo molto scarse → Possibili soluzioni
  - Test con cadaveri.
  - Test con volontari.
  - Test con animali anestetizzati



Sierra Sam (1949) usato per valutare i sedili eiettabili dei caccia https://en.wikipedia.org/wiki/Crash_test_dummy

Un po’ di storia dei manichini (1)

- L’idea di usare dei simulacri umani per valutare la pericolosità di un incidente venne applicata per prima dall’aeronautica militare USA per testare la pericolosità dei seggiolini eiettabili che a fine anni 1940 stavano entrando in uso sui nuovi caccia. In quel caso il pericolo era l’eccessiva spinta propulsiva delle cariche esplosive che dovevano lanciare con grande accelerazione il pilota fuori dall’abitacolo. Il rischio di danni irreparabili alla colonna vertebrale era rilevante.
- Il primo manichino sviluppato a tale scopo fu nel 1949 il Sierra Sam. Era molto grossolano, cioè poco “*biofedele*” in quanto riproduceva piuttosto male le caratteristiche fisiche di un umano, in quel caso un adulto maschio di media corporatura. Inoltre, poteva misurare solo pochi parametri biomeccanici, quindi da essi era difficile determinare il rischio di lesioni.
- Nei primi anni '50, la Cornell Aeronautical Laboratories studia gli incidenti stradali per determinare come rendere le auto più sicure. Grumman-Alderson produce il "Gard Dummy", un manichino di ricerca ancora grossolano.
- 1950: La base aeronautica di Hollaman conduce crash test utilizzando il manichino VIP 50th ARL e il Sierra Sam.
- 1950-1970: Vengono sviluppati manichini per crash test automobilistici basati sui modelli di manichini aerospaziali. Vengono prodotti manichini maschili 50% e 95% e il manichino femminile 5%.
- 1971: Viene introdotto l'Hybrid I, una standardizzazione dei manichini maschili ARL e Sierra 50%.
- 1972: Viene sviluppato l'Hybrid II, con spalle, colonna vertebrale e ginocchia migliorate. Rileva misure biomeccaniche migliori rispetto all'Hybrid I.

Un po’ di storia dei manichini (2)

- 1973: Viene introdotto il manichino standard Hybrid II 50%. La National Highway Transportation Safety Administration (NHTSA) stipula un contratto con la General Motors per la produzione di teste, colli, articolazioni, costole, ginocchia migliorati, una postura simile a quella umana e un nuovo design della colonna vertebrale. Questo dummy è indicato come ATD 502.
- 1976: Viene lanciato l’Hybrid III. Tale manichino è un miglioramento effettuato da General Motors dell'ATD 502 con un nuovo collo, un nuovo torace e più trasduttori per dati più completi. L’artefice di tale miglioramento è il Dr. Harold J. Mertz.
- 1979-1987: La NHTSA stipula un contratto con l'University of Michigan Transportation Institute (UMTRI) per la produzione di un nuovo manichino per urto laterale (SID). Si tratta di un manichino di tipo Hybrid II con un nuovo torace.
- 1988-1989 Humanetics (un tempo First Technology Safety Systems) e il SAE sviluppano manichini derivati dall’Hybrid III 50% per replicare donne piccole (5%) e maschi grandi (95%).
- Per superare i limiti del SID i laboratori europei Association Peugeot-Renault (APR) e INRETS in Francia, TNO nei Paesi Bassi e TRL nel Regno Unito, sotto la guida dell'European Enhanced Vehicle-safety Committee (EEVC), sviluppano l'EuroSID, un manichino 50% per l’urto laterale.
- General Motors e il SAE sviluppano il BioSID, un manichino biofidele per urto laterale basato sull’Hybrid III. Completamento del progetto AATD (Advanced Dummy). L'Università del Michigan e la Wayne State University ricevono un contratto dalla NHTSA per lo sviluppo di un manichino avanzato, il futuro Thor.
- 1995-1996: First Technology Safety Systems e l'Occupant Safety Research Partnership sviluppano congiuntamente i SID IIs, un manichino 5% per impatto laterale e in particolare per verificare la pericolosità degli airbag laterali.
- 1996 First Technology Safety Systems sviluppa la serie FT-Arup™ FE-Model, un modello computerizzato di manichino per crash test a elementi finiti, estremamente preciso e dettagliato.

Quanto è debole il corpo umano? Ecco cosa scrisse Hug De Haven nel 1942.

- Hugh De Haven was an American pilot who had survived a plane crash during World War I and afterwards he tried to understand the reasons of his good luck. De Haven noted that he was the sole survivor, his cockpit also being the only one intact after the crash.
- De Haven's discovery of human body tolerance to high stress was confirmed in the 1960s by the tests of Steve Gurdjian, Herbert Lissner, John Paul Stapp and other U.S. physicians.

Hugh De Haven noted that injury can be reduced by spreading the transfer of energy/force over time or spatial area.

In 1942, in the classic "*Mechanical analysis of survival in falls from heights of fifty to one hundred and fifty feet.*" [24] he wrote:

"***The human body can tolerate and expend a force of 200 times the force of gravity for brief intervals during which the force acts in transverse relation to the long axis of the body. It is reasonable to assume that structural provisions to reduce impact and distribute pressure can enhance survival and modify injury within wide limits in aircraft and automobile accidents.***"

This resistance of human body is much higher than the common belief existing at that time.

Principi di sicurezza degli occupanti sviluppati da Hug De Haven alla Cornell University

Hugh De Haven in his research at Cornell University in the 1940s and 50s defined the design criteria on occupant protection, derived by simple packaging principles, that can be summarized in this way.

1. The package should not open and should not collapse during the crash.
2. The packaging structure must not be made of brittle materials; it must resist the force of impact and absorb the energy applied to it.
3. The objects in the container (the human) should be immobilized.
4. The padding material must transmit the force applied to the container to the strongest parts of the contained objects (the human).

Questi criteri valgono ancora oggi ma ci sono voluti tanti decenni di intensa attività di costruttori e fornitori per riuscire a sviluppare e produrre componenti e veicoli che applicassero adeguatamente questi concetti.

Steve Gurdjian e Herbert Lissner: Prime ricerche sulle lesioni alla scatola cranica alla Wayne State University

- In 1940, Dr. Steve Gurdjian and Professor Herbert Lissner began at Wayne State University (Detroit, USA) a study on head injuries and skull fractures using anesthetized dogs and cadaveric skulls, thus starting the discipline of impact biomechanics.
- They applied the techniques of stress coat analysis and with the use of the strain gage were able to study the force-time relations of the event. Soon Dr. M. Lebow and Dr. L. M. Patrick, both engineers, joined the team.
- A paper outlining a human cerebral concussion tolerance curve was presented at the 7th Stapp Conference and published in the proceedings by Patrick, Lissner, and Gurdjian.
- This tolerance curve, as modified by Dr. C. Gadd and further modified by Dr. J. Versace, is still used to determine head protection of automobiles, sports helmets and other head protection systems.

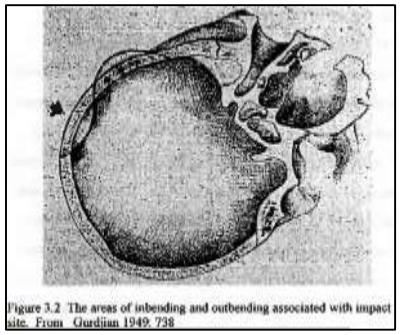


Figure 3.2 The areas of inbending and outbending associated with impact site. From Gurdjian 1949: 738

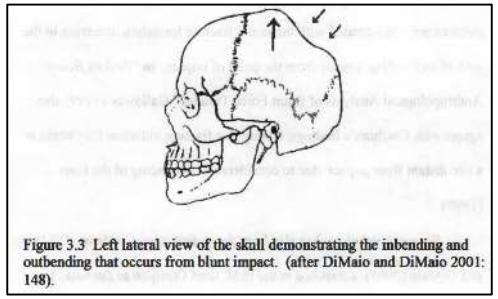
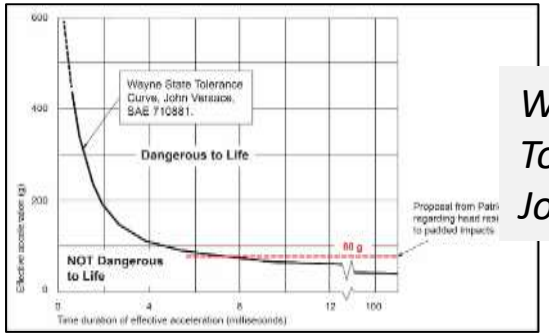


Figure 3.3 Left lateral view of the skull demonstrating the inbending and outbending that occurs from blunt impact. (after DiMaio and DiMaio 2001: 148).



Wayne State Tolerance Curve, John Versace

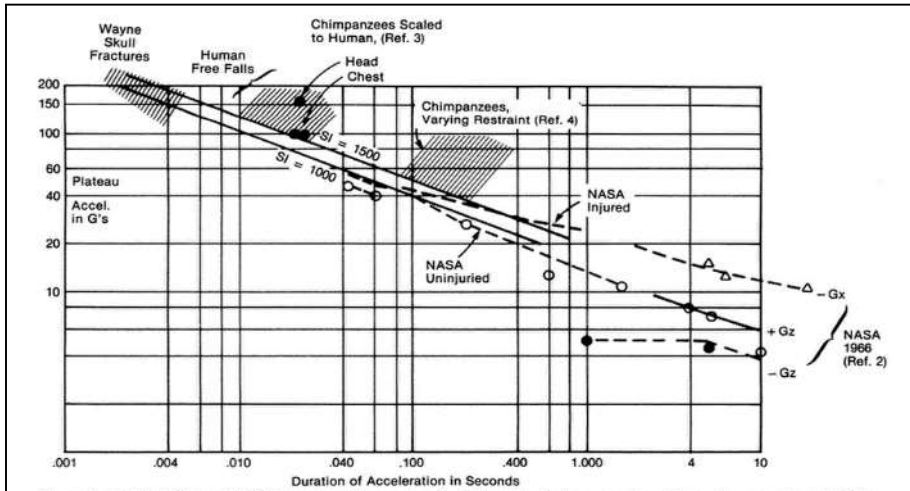


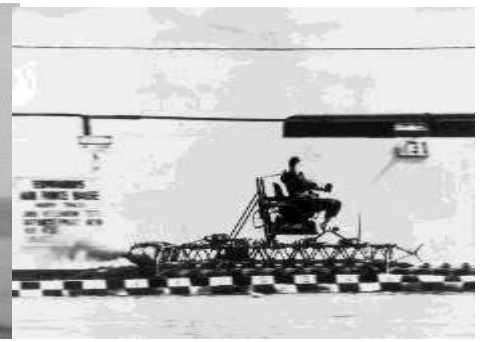
Figure 1. NASA 1959 and 1966 Literature Summaries for Tolerable Plateau Accelerations, Harnessed; with Other Data Superimposed.

Calcolo dell'Head Injury Criterion (HIC)

$$HIC = \left[(t_2 - t_1) \left\{ \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a(t) \cdot dt \right\}^{2.5} \right] max$$

Primi esperimenti sul corpo umano: John Paul Stapp testa se stesso

- Colonel John Paul Stapp (1910-1999) was an American U.S. Air Force officer, flight surgeon, physician, biophysicist, and pioneer in studying the effects of acceleration and deceleration forces on humans.
- Stapp subjected himself to many sled tests and often he was left with debilitating injuries. But the gathered information on human resistance to impacts were fundamental. In addition, his research inspired a plethora of investigators to further enhance the understanding of human tolerance and injury risk through the development of injury assessment techniques.
- Strapped on a robust seat anchored to a rocket propelled sled, in 1954 Stapp **exceeded 1,000 km/h and stopped in 1.4 seconds**. He demonstrated that a human could withstand at least **46 g** in the forward direction and with adequate harnessing. This is the highest known acceleration voluntarily encountered by a human.



Left: after a test; right: the hydro brake action producing the rapid deceleration.

An annual meeting named after him, the Stapp Car Crash Conference, is still the key gathering of car-crash testers, biomechanics researchers, and other safety industry experts.

https://www.youtube.com/watch?v=omtISQp5bKg

https://www.youtube.com/watch?v=PyhcfccJkKc

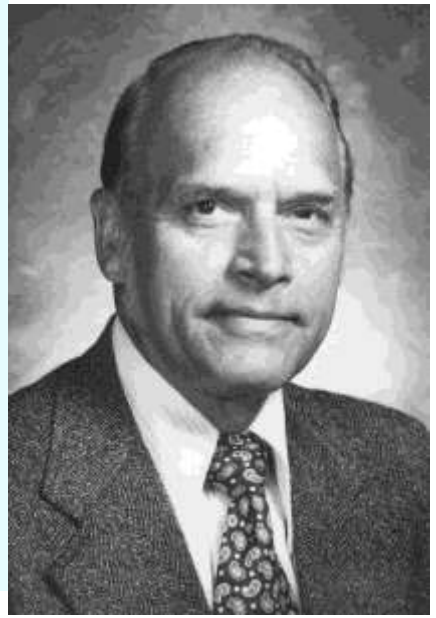
Primi esperimenti sul corpo umano: Lawrence Patrick testa se stesso

Lawrence Patrick (1920 – April 30, 2006) may well be considered one of the fathers of the crash test dummy.

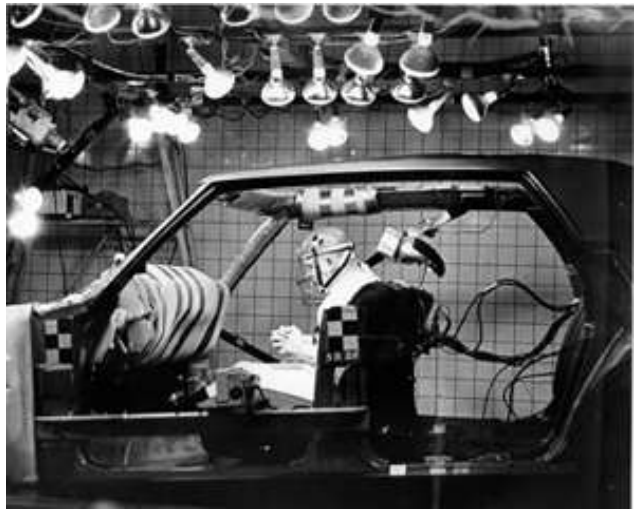
Between 1960 and 1975, while a biomechanics professor at Detroit's Wayne State University, Patrick described his work by saying "*I was a human crash-test dummy*". Patrick allowed himself to be subject to over 400 rocket sled rides, crushing blows to the head and body, and other forms of physical abuse in an effort to develop a body of data on how the human body responded in a vehicle accident.

Lawrence also subjected himself to a 50-pound pendulum to the breast plate to test the effects of a steering column on a human.

One of Lawrence Patrick students, Harold Mertz, went on to develop Hybrid III, the current worldwide standard crash test dummy.



Patrick was a research director at Wayne State University in Detroit from 1946 and professor from 1958 until 1976. He became director of the Wayne State Biomechanics Research Center in 1965.



Patrick volunteered to ride the crash sled for the sake of scientific advancement.

I test con cadaveri e animali anestetizzati

Sviluppo dei manichini adulto

Most of the tolerance data available on human body have been achieved through tests on cadavers or Post-Mortem Human Subjects (PMHS).

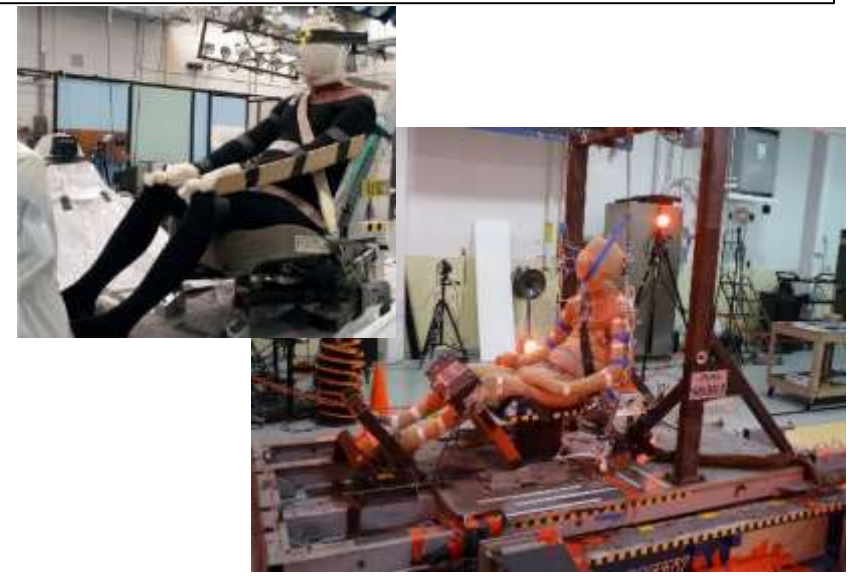
However, **data obtained from cadavers suffer limitations because the subjects are older than population average**. Additionally, **cadavers do not have uniformity (no two cadavers are the same)**. Moreover, they lack muscular tone.

Sviluppo dei manichini bambino

Child cadavers were not only difficult to obtain, but both emotional state and public opinion made them effectively unusable. Therefore, very few testing data on child body tolerance are available. Most of the parameters used for child dummy development are obtained by scaling the adult data.

Test con animali anestetizzati

Tests on anesthetized animals, mainly pigs and non-human primates. This activity gave limited contribution owing to the physical dissimilarity to human being and the difficulties to achieve a satisfactory posture. Eventually, ethical objections reduced dramatically this type of investigations.



Test con cadaveri imbalsamati
https://www-nrd.nhtsa.dot.gov/database/VSR/SearchMedia.aspx?database=b&tstno=11510&mediatype=p&p_tstno=11510

Concerns on the use of cadaver is periodically raised in some countries, but from a moral point of view it must be considered the huge number of human lives saved thanks to the data achieved with cadaver researches. Certainly, the knowledge on body strength and the biofidelity of the dummies would be much lower if the great work with cadavers would not have been done.

Un po’ di storia: McNamara manager alla Ford e poi ministro della difesa

I vecchi come me si ricorderanno senz’altro che il ministro della di difesa ai tempi di Kennedy era McNamara – siamo al tempo della guerra in Vietnam. Ma forse pochi sanno che fu un grande promotore della sicurezza stradale.

Alla Ford fu il promotore dello sviluppo di modelli più sicuri, a quel tempo un aspetto del tutto ignorato. Il pacchetto sicurezza di vari modelli Ford deciso da McNamara venne indicato col termine **Lifeguard (1)**.

Questo brillante manager (con grandi competenze di statistica) venne nel 1960 convinto da John Kennedy a lasciare Ford per occuparsi di soldati e guerre.

He went about his work with an acute sense of social responsibility. Unlike most automobile executives, **he was an early champion of passenger safety**. He later recalled, “The prevailing idea in the auto industry was that if you talked about safety, you’d scare the public.” Under McNamara’s leadership, Ford’s 1956 models featured padded instrument panels and safer steering wheels, and the first passenger cars with seat belts.

(1) The Lifeguard package included:
Three standard features: 1) A safety "deep-center" steering wheel with spokes that would flex. 2) Safety "double-grip" door latches to prevent occupant ejection in case of a crash. 3) Safety rearview mirror to reduce broken glass if shattered.
Two optional features: 4) Front and rear lap only seat belts (first offered by Ford in 1955). 5) Padded dashboard and sun visors (the padding was advertised as being more absorbent than foam rubber).

https://headspacejames.medium.com/wot-i-red-robert-mcnamara-saved-more-lives-than-he-took-e8871fddeb32

https://www.motortrend.com/features/robert-mcnamara-before-vietnam-there-was-ford-2366/

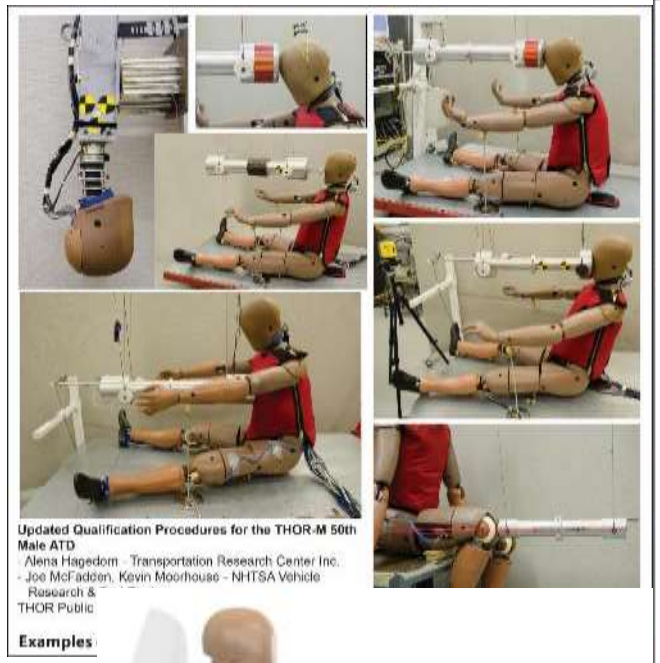
https://en.wikipedia.org/wiki/Lifeguard_(automobile_safety)

I manichini per l’automobile

Manichini automobilistici

Bambini	Donne piccole	Uomini medi e grandi	Uomini grossi e obesi	Pedoni

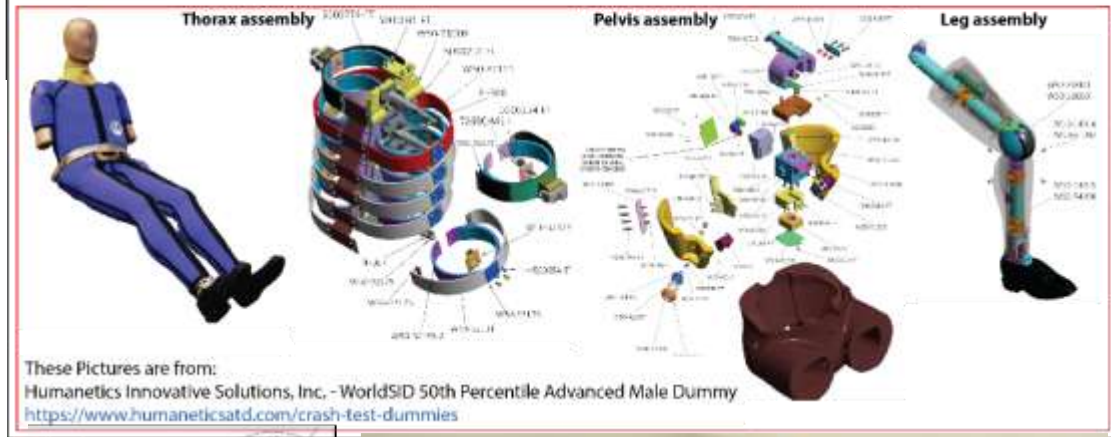
Manichini automobilistici



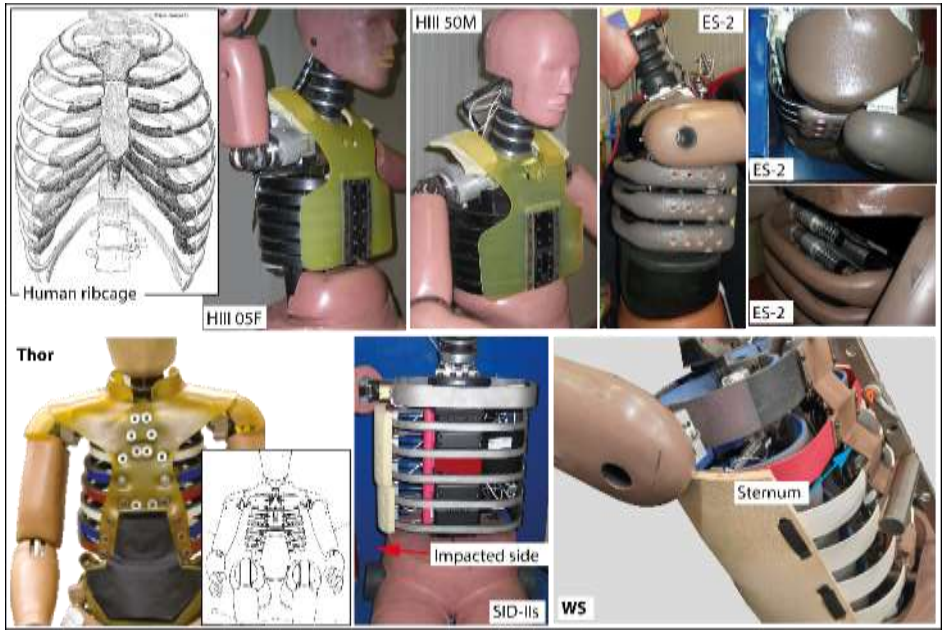
Updated Qualification Procedures for the THOR-M 50th Male ATD
- Alena Hagedorn - Transportation Research Center Inc.
- Joe McFadden, Kevin Moorhouse - NHTSA Vehicle Research &
THOR Public

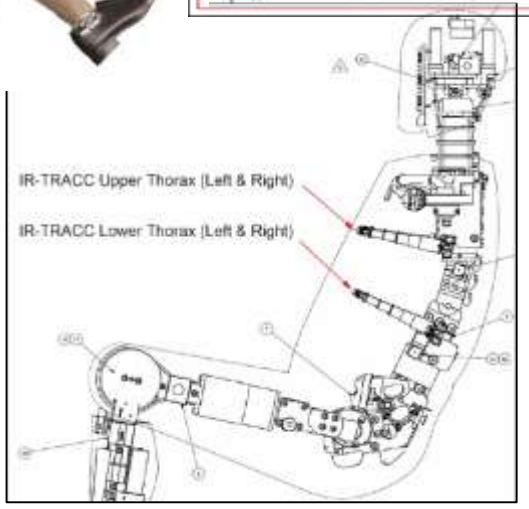
Examples

World SID 50th percentile male (WS 50M)
- Person mimicked: average male (50th%)
- Mass: 75 ± 3 kg
- Erect sitting height: 91 ± 1.2 cm
- Channels: 150+



These Pictures are from:
Humanetics Innovative Solutions, Inc. - WorldSID 50th Percentile Advanced Male Dummy
https://www.humaneticsatd.com/crash-test-dummies





I primi manichini per l'automobile

- Until to mid of 60s, aviation industry, military aeronautics, and space program led the development of dummies.
- But these dummies did not meet some needs for automobile crashworthiness development. For example, they didn't have an adequate pelvic structure and lacked sufficient spinal articulation.
- For these reasons, the automotive industry rapidly became the driving force in developing crash test dummies.

Required minimum characteristics of an automotive dummy:

1. To reproduce body motions and its matching with lap and shoulder belts during the frontal impact.
2. To assure a reliable measurement of the loads and stresses acting on head and other relevant body organs.

To achieve the first objective in 1966 Alderson started the development of the VIP50 (Very Important People), a 50th percentile male dummy. It had articulated limb joints, a rubber neck, and was instrumented to measure head acceleration, thoracic spine acceleration, and femurs loads. Regrettably, stiffness biofidelity was low, and repeatability and reproducibility were poor.

In 1975 GM, under the leadership and with the perseverance of Dr. Harold J. Mertz, developed a new dummy called Hybrid III – a midsize adult male dummy still in use in today's crash tests.

Hybrid III 50%

Peculiarità dei manichini automobilistici e valutazione dei rischi di lesione negli incidenti

Peculiarità

- The dummies for automobile must replicate the sitting posture typical of automotive occupants.
- Consequently, to reduce complexity, the adult dummies are created with a reduced mobility between femurs and pelvis, mainly because of the one-piece pelvis flesh that includes the upper extremity of thigh in sitting condition.

Valutazione dei rischi di lesione

- Dummies measure forces, moments, acceleration and displacement.
- Therefore, they do not provide direct information on injury a person would sustain in a crash test.
- For example, increasing the force on femur, we see simply an increment of response from the load cell.
- The fracture of femur occurs when stress/strain in some points of femur rise above its resistance limit. Obviously, the metallic element simulating the femur of dummy shall never break.

Primi crash test con i manichini

- Negli USA i primi test con i manichini entrarono in vigore nel 1972 con la FMVSS 208. Tuttavia, la conformità a questa normativa poteva essere raggiunta con altre opzioni tecniche, senza fare i test con i manichini. La piena applicazione dei test con manichini avviene nel 1986.
- In Europa i manichini furono obbligatori (per il nuovo omologato) a partire dal 1998.

In urto frontale il primo manichino utilizzato in USA è stato l'Hybrid II,

sostituito dopo qualche anno dall'Hybrid III.

In questi test – e in quelli successivi introdotti dai vari regolamenti – sono misurati un certo numero di parametri biomeccanici.

Col passare degli anni le normative sono diventate più severe: i valori biomeccanici limite sono stati ridotti e sono entrati in vigore nuovi parametri e ulteriori test. E' pure iniziato l'uso dei manichi donna.

Injury measured in test FMVSS 208			**HIII 50M Biomechanical limits**
Head	HIC15	-	700
Neck	Nij	-	1.0
	Traction	N	4170
	Compression	N	−4000
Thorax	Acceleration (clip 3ms)	g	60
	Deflection	mm	−63
Femur	Compression	N	−10000

La famiglia dei manichini Hybrid III adulti: 5%, 50%, 95%.

The restraint systems developed only with Hybrid III 50th percentile dummy could be inadequate for large- or small-size adult occupants.

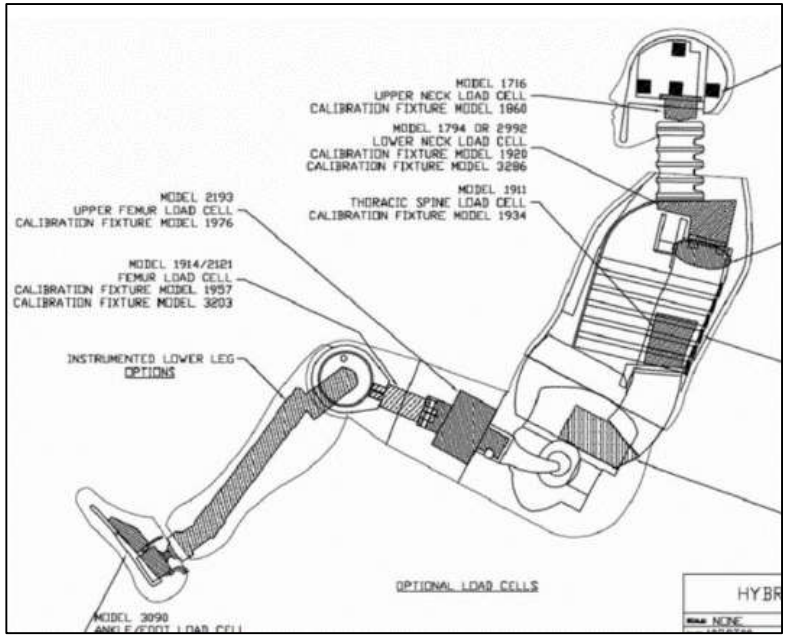
To overcome this deficiency, in 1987 First Technology, Ohio State University (OSU), SAE biomechanics committee and the Centers for Disease Control and Prevention (CDC), defined the specifications for an adult-size small female (5th percentile) and large male (95th percentile) dummies.

Their features (geometry, mass distribution, mechanical characteristics) have been scaled from the 50th percentile dummy to achieve the same level of biofidelity and measurement capacity.

Hybrid III 5% donna

Hybrid III 50% uomo

Hybrid III 95% uomo



Dettagli sui manichini

Complessità e robustezza dei manichini

Complessità

- To limit the mechanical complexity of dummies, while increasing their solidity and repeatability, a specific type of dummy for any type of impact – mainly for front and side collisions – was the inevitable choice.
- Because of the relevance of head-on collisions, firstly started the development of frontal impact dummies. Then, in the late 1970's started the development of dummies for side impact, and lastly, in the 1990's began the design of rear impact dummies.

Robustezza

These one-directional dummies are the necessary compromise among reduced mechanical complexity, containment of costs, a sturdy structure and an acceptable biofidelity.

Sviluppi recenti

- Only some recent dummies like WorldSID, Thor and some child dummies, have some multi-directional capabilities like to respond correctly in oblique frontal or in oblique lateral impacts.
- There are no adult dummies that have the necessary biofidelity, measurement capacity and durability to be used in all impact directions.

Lista dei manichini adulto (non sono elencati gli sviluppi in corso)

Model (*)	Male / Female	Percentile	Front, Side, Rear, Pedestrian	Weight (kg) (1)	Height (stature) (2)	Erect Sitting Height (cm) (2)	Channels	NOTES
Hybrid II 50M	M	50	F	74.4		90.7		A few specimens remained, now used only as ballast.
Hybrid III 50M	M	50	F	78.2	175	88.4	36+	Adopted by most of regulations and ratings.
Hybrid III 05F	F	5	F	49.3	150	78.7	32+	Adopted by most of regulations and ratings.
Hybrid III 95M	M	95	F	101.2	185-188	92-93.5	20+	Used mainly to evaluate the restraint system under high loads. Specified by Euro NCAP for knee mapping activity.
Thor 50M	M	50	F	~80	-	-	180+	Replacement of Hybrid III 50M. Very good biofidelity.
Thor 05F	F	5	F	49	150	-	-	Future replacement of Hybrid III 05F. Very good biofidelity.
ES-1	M	50	S	72	-	92.0	10+	First version of EuroSID dummy, replaced by ES-2.
ES-2	M	50	S	72	-	92.0	26+	Adopted by most of regulations and ratings.
ES-2re	M	50	S	72	-	92.0	26+	ES-2 with rib extension, adopted by the FMVSS 214 and USNCAP.
SID-IIs	F	5	S	44.5	-	79.0	35+	Adopted by FMVSS 214, USNCAP and IIHS.
US-SID (SID)	M	50	S	76.5	-	89.9	8	Obsolete; used in the old FMVSS 214; replaced by ES-2re.
SID/HIII	M	50	S	-	-	-	17	SID with Hybrid III head and neck. Mandated by FMVSS 201 and old USNCAP.
BioSID	M	50	S	76.1	-	88.4	27	Old dummy, good biofidelity; not mandated by any standard.
WorldSID 50M	M	50	S	77	175	87.0	150+	Replacement of ES2. Very good biofidelity. Adopted by UN-R135 and Euro NCAP.
WorldSID 05F	F	5	S	48	-	-	125+	Future replacement of SID-IIs.
RID2	M	50	R	81	-	-	27	Developed for whiplash assessment, can handle also oblique-rear impacts. No application in legal tests or ratings.
RID3D	M	50	R	-	-	-	-	Derived from RID2, it can also evaluate whiplash originated in frontal impact. No application in legal tests or ratings.
BioRID II	M	50	R	78	-	88.4	30+	Developed for whiplash assessment. Adopted by many consumer tests. Specified by the GTR-7.
POLAR III	M	50	P	78	-	-	50+	Developed by Honda, it is the most advanced dummy for the investigation of pedestrian protection.

(*) In bold types and highlighted background are indicated the dummies presently used in legal and rating tests.

(1) Common weight tolerance is ± 3 kg.

(2) Common height tolerance is ± 1.2 cm.

Lista dei manichini bambino (non sono elencati gli sviluppi in corso)

Model	Age	Weight (kg) (1)	Standing Height (cm) (2)	Erect Sitting Height (cm) (2)	Channels	Subpart of Part 572,	NOTES
CAMI	New born	3.4	51.9			K	Civil Aeronautical Medical Institute. Mandated by FMVSS 208 and FMVSS 213.
CAMI	6 mo	7.8	66.7			D	Civil Aeronautical Medical Institute.
CRABI	6 mo	7.9	66.8	44.4	28	D	Child Restraint Air Bag Interaction.
CRABI 12	12 mo	10.0	74.7	47.0	34	R	Child Restraint Air Bag Interaction. Mandated by FMVSS 208 and FMVSS 213.
CRABI 18	1.5 yo	11.5	81.5	50.5	29	J	Child Restraint Air Bag Interaction.
Hybrid III 3yo	3 yo	16.2		54.6	41	P	Mandated by FMVSS 208 and FMVSS 213.
Hybrid III 6yo	6 yo	23.4 (3)		63.5	47	N, S	Mandated by FMVSS 208 and FMVSS 213.
Hybrid III 10yo	10 yo	35.2	131.0	72.0	59	T	Mandated by FMVSS 213.
P 0	New born	3.4					
P 3/4	9 mo	9	71.0	46.0	15		Abdominal penetration insert. Mandated by UN-R44
P 1.5	1.5 yo	11			15		
P 3	3 yo	15	98.5	55.0	15		Abdominal penetration insert. Mandated by UN-R44.
P 6	6 yo	22	117	63.5	9		Abdominal penetration insert. Mandated by UN-R44.
P 10	10 yo	32	137.6	72.5	9		Abdominal penetration insert. Mandated by UN-R44.
Q 0	New born	3.4		35.5	15		Replacement of P0
Q 1	1 yo	9.6	74.0	47.9	26		
Q 1.5	1.5 yo	11.1	80.0	49.9	26		Replacement of P1.5
Q 3	3 yo	14.6	98.5	54.4	32		Replacement of P3
Q 6	6 yo	22.9	114.3	60.1	32		Replacement of P6. Adopted by EUNCAP.
Q 10	10 yo	35.5	145.3	73.4	44+		Replacement of P10. Adopted by EUNCAP.

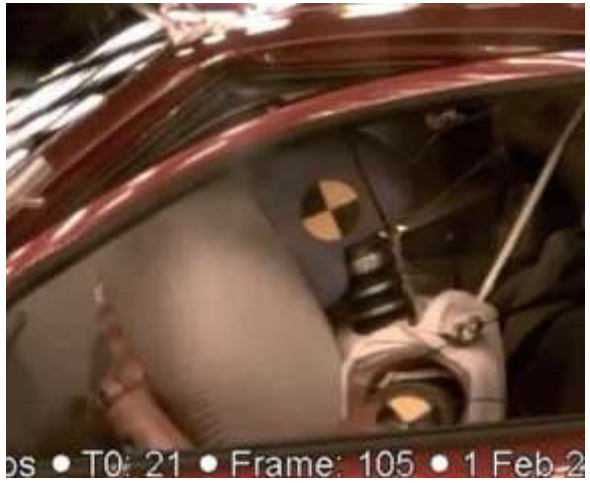
(*) In bold types and highlighted background are indicated the dummies used in legal and rating tests.

(1) Tolerance ± 0.7÷1.2 cm.

(2) Tolerance ± 0.5÷1.0 kg.

(3) FMVSS 213 specifies also a weighted version of Hybrid III 3yo with a mass of 28.1 kg.

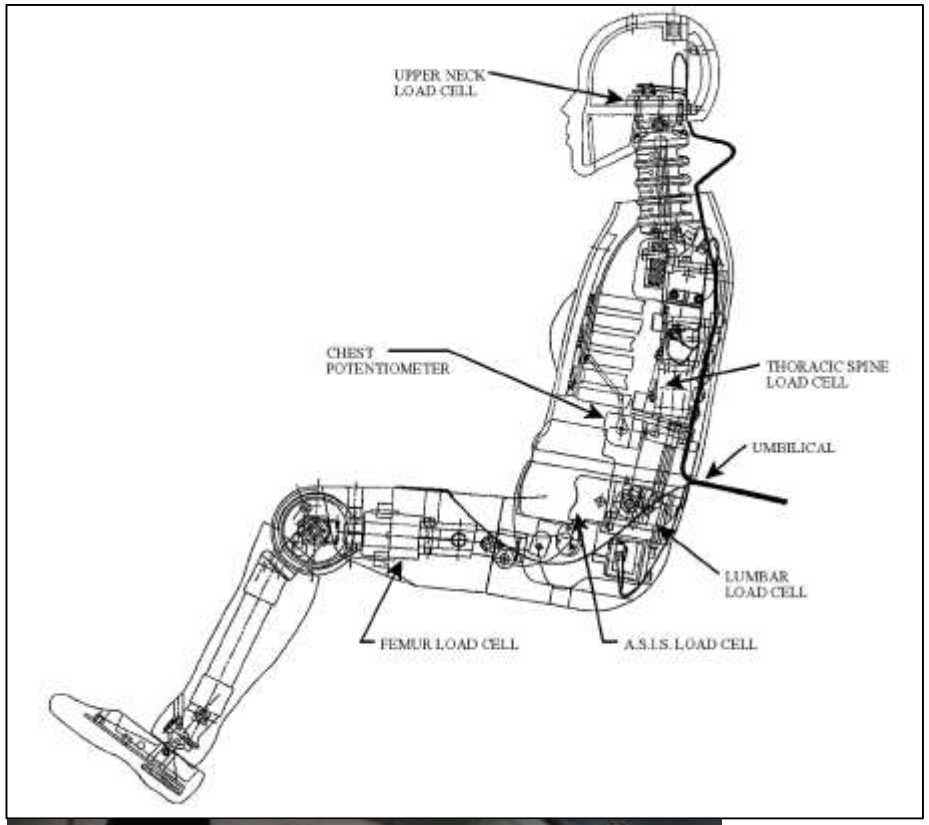
Manichini per urto frontale: l'intramontabile Hybrid III 50%

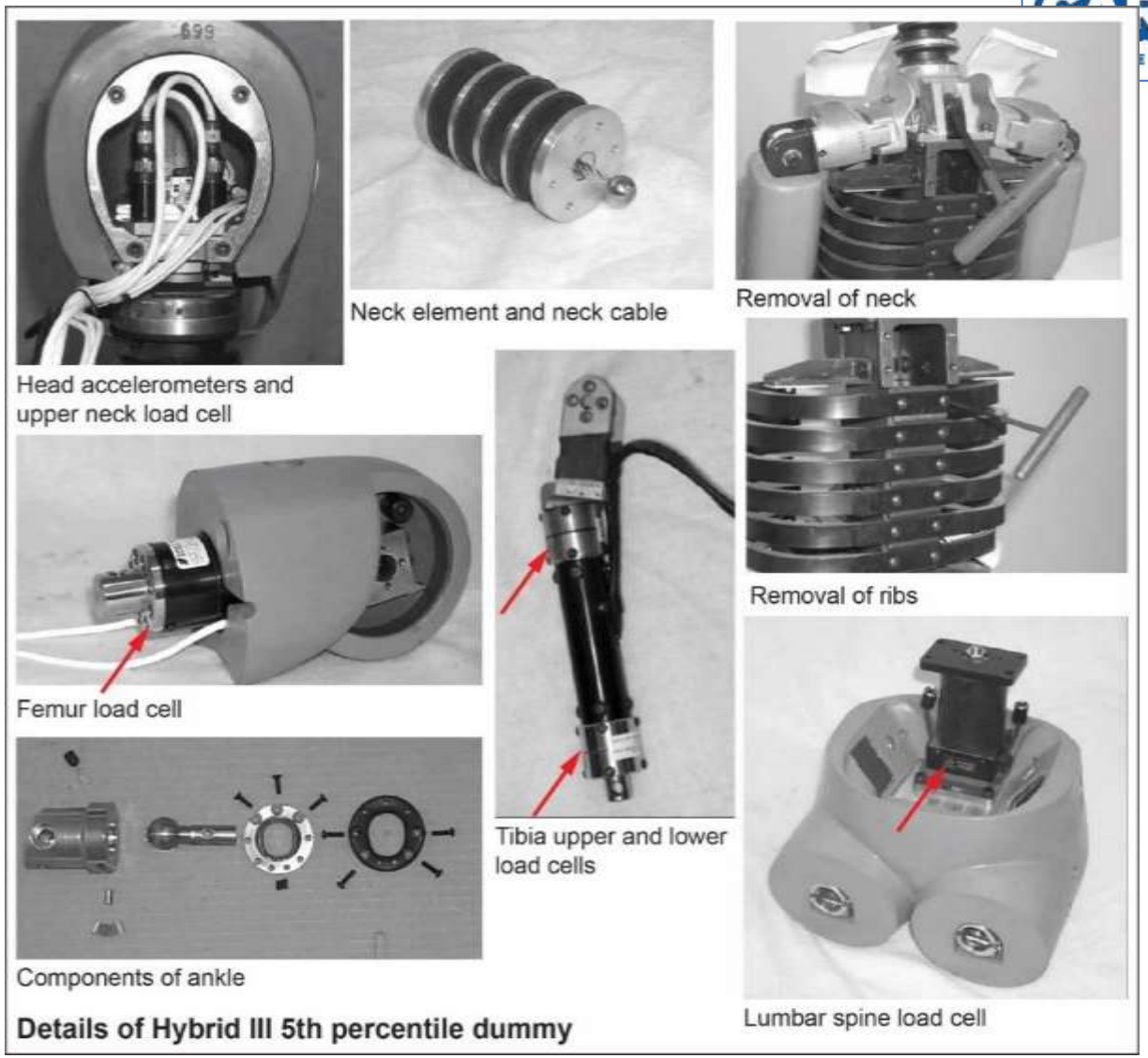


Hybrid III 50% uomo

- Il 50% uomo è stato il primo manichino con adeguata biofedeltà utilizzato in campo automobilistico. Sviluppato da GM, fu disponibile a partire dal 1976. Attualmente è ancora in uso da parte di tutte le normative (USA, ECE, Cina, …).
- Nel 1988 furono lanciati il 5% e il 95%, sviluppati da First Technology, Ohio State University (OSU), SAE biomechanics committee and the Centers for Disease Control and Prevention (CDC).
- Il 5% è prescritto da varie normative (USA, ECE, …).
- Il 95% è usato per verificare la resistenza dei sistemi di ritenuta.

Manichini per urto frontale: Hybrid III 5% donna



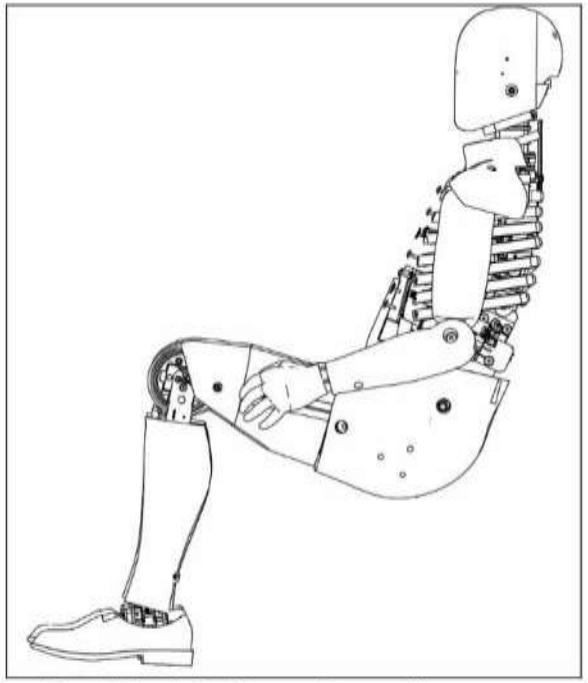


Details of Hybrid III 5th percentile female dummy

Manichini per urto frontale: Hybrid III 5% donna

Details of Hybrid III 5th percentile female dummy

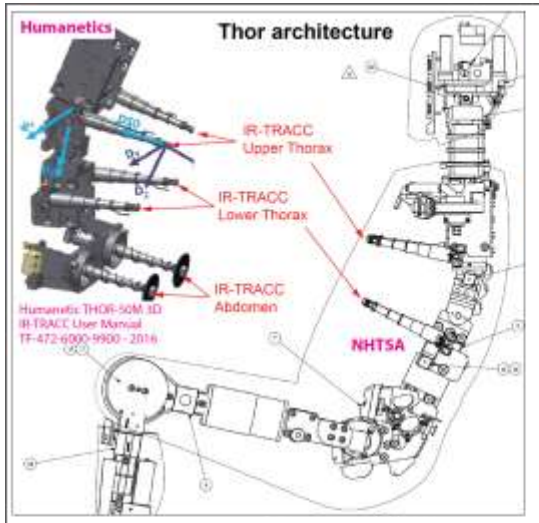
Manichini per urto frontale: Evoluzione da Hybrid III a Thor

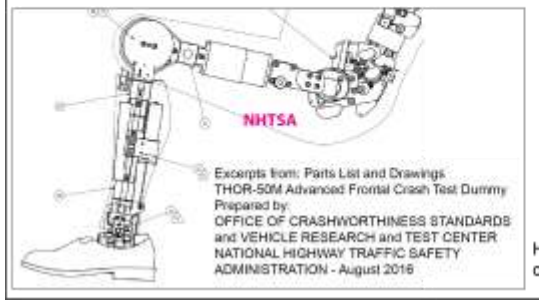


Parts List and Drawings - THOR-50M Advanced Frontal Crash Test Dummy Prepared by:
OFFICE OF CRASHWORTHINESS STANDARDS and VEHICLE RESEARCH and TEST CENTER
NATIONAL HIGHWAY TRAFFIC SAFETY ADMINISTRATION - August 2016

APPLICATIONS OF THE THOR ATD IN NHTSA RESEARCH
Dan Parent, Human Injury Research Division
National Highway Traffic Safety Administration

Dummy: Thor 50M - Person mimicked: average male (50th%)
Mass: 77 ± 3 kg
Height: 176 ± 1.5 cm
Channels: up to 288



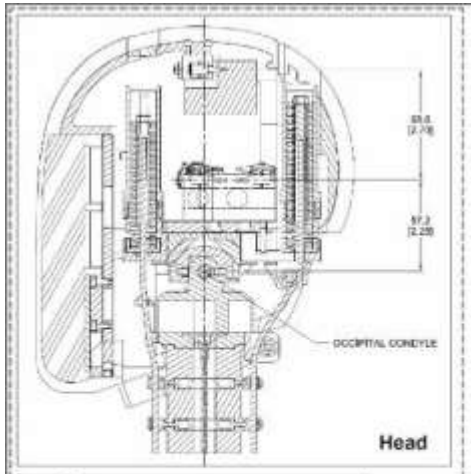


Thorax rib deflection measurement

High deformation of thorax caused by the belt. To limit rib deflection, the load from the shoulder belt must be reduced.

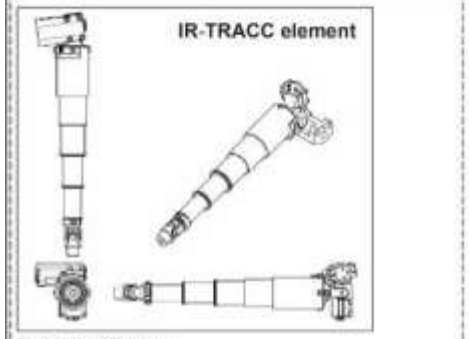
- Il manichino Thor 50% uomo è in uso da parte di Euro NCAP a partire dal 2020 e successivamente da Australian NCAP, China NCAP and Japan NCAP.
- Questo manichino, sviluppato in USA, è molto più sofisticato e biofedele dell'Hybrid III.
- Ad oggi è solo usato da alcuni rating. L'uso nei crash test delle normative è frenato dal suo elevato costo e complessità d'uso. In anni recenti è stato ampiamente utilizzato dal NHTSA per definire nuovi standard di prova.

Manichino Thor

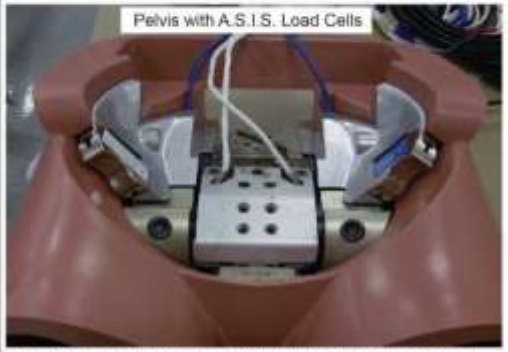


Neck springs and cables (front and rear)

Updated Qualification Procedures for the THOR-M 50th Male ATD
- Alena Hagedorn - Transportation Research Center Inc.
- Joe McFadden, Kevin Moorhouse - NHTSA Vehicle Research & Test Center
THOR Public Meeting January 20, 2015 - Washington, DC



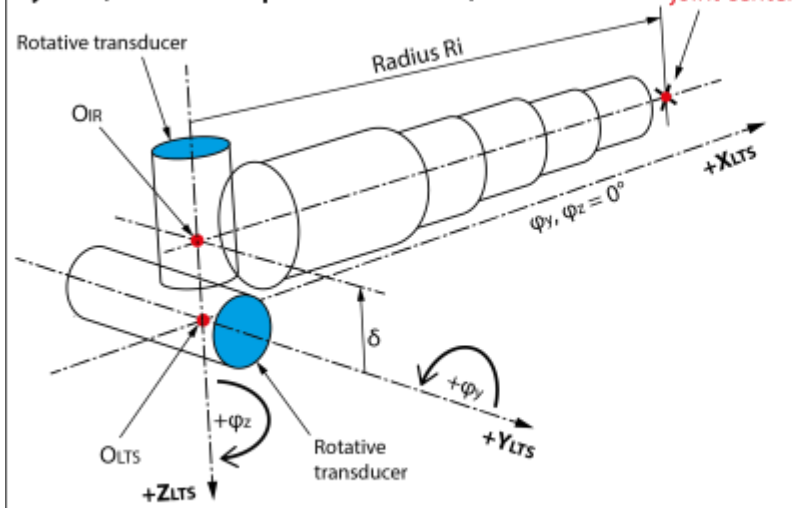
Parts List and Drawings
THOR-50M Advanced Frontal Crash Test Dummy
Prepared by:
OFFICE OF CRASHWORTHINESS STANDARDS and VEHICLE RESEARCH and TEST CENTER
NATIONAL HIGHWAY TRAFFIC SAFETY ADMINISTRATION - August 2016



NHTSA THOR Update - Dan Parent - Human Injury Research Divisions - NHTSA, October 2012

Thor-Lx Advanced Lower Extremity
https://one.nhtsa.gov/Research/Biomechanics-&-Trauma/Thor%E2%80%93Lx(HIIIr)-Advanced-Lower-Extremity

IR-TRACC Lower Right aligned with LTS coordinate system (IR-TRACC axis parallel with X-axis)



XLTS, YLTS, ZLTS: Local axes of Lower Thoracic Spine

Displacement of IR-TRACC ~~joint center~~ in LTS coordinate system

$x_i = \delta \cdot \sin(\varphi_{yi}) + R_i \cdot \cos(\varphi_{yi}) \cdot \cos(\varphi_{zi})$
$y_i = R_i \cdot \sin(\varphi_{zi})$
$z_i = \delta \cdot \cos(\varphi_{yi}) - R_i \cdot \sin(\varphi_{yi}) \cdot \cos(\varphi_{zi})$

Offset

$\delta = +15.65$ Upper chest IR-TRACC
$\delta = -15.65$ Lower chest IR-TRACC
$\delta = 0$ Abdomen IR-TRACC

Rib deflection in XLTS, YLTS and ZLTS direction

$D_{xi} = x_i - x_0$
$D_{yi} = y_i - y_0$
$D_{zi} = z_i - z_0$

Resultant rib deflection (Chest and Abdomen)

$D_i = (D_{xi}^2 + D_{yi}^2 + D_{zi}^2)^{0.5}$

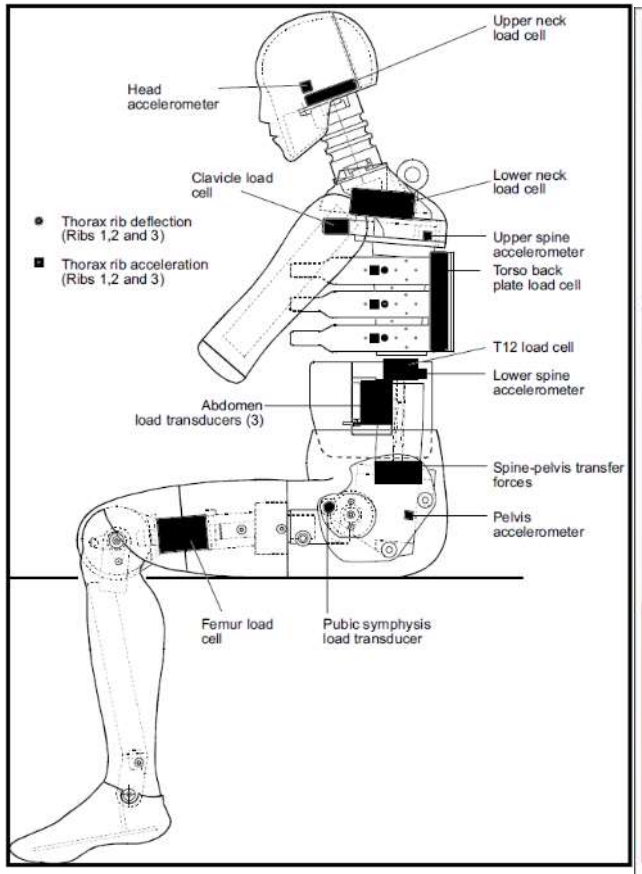
i = generic instant of time

Sofisticato Sistema di misura dello schiacciamento costole.

Manichini per urto laterale: Euro SID (ES)

- In the late 1980's started the development of the EuroSID, a 50th percentile male side impact dummy
- Under the leadership of the European Enhanced Vehicle-safety Committee (EEVC), the activity was carried out by four European laboratories: Association Peugeot-Renault (APR) and INRETS in France, TNO in Netherlands, and TRL in UK.
- It has been developed to be used in the EEVC Side Impact Test Procedure as well as for scientific research and vehicle development.

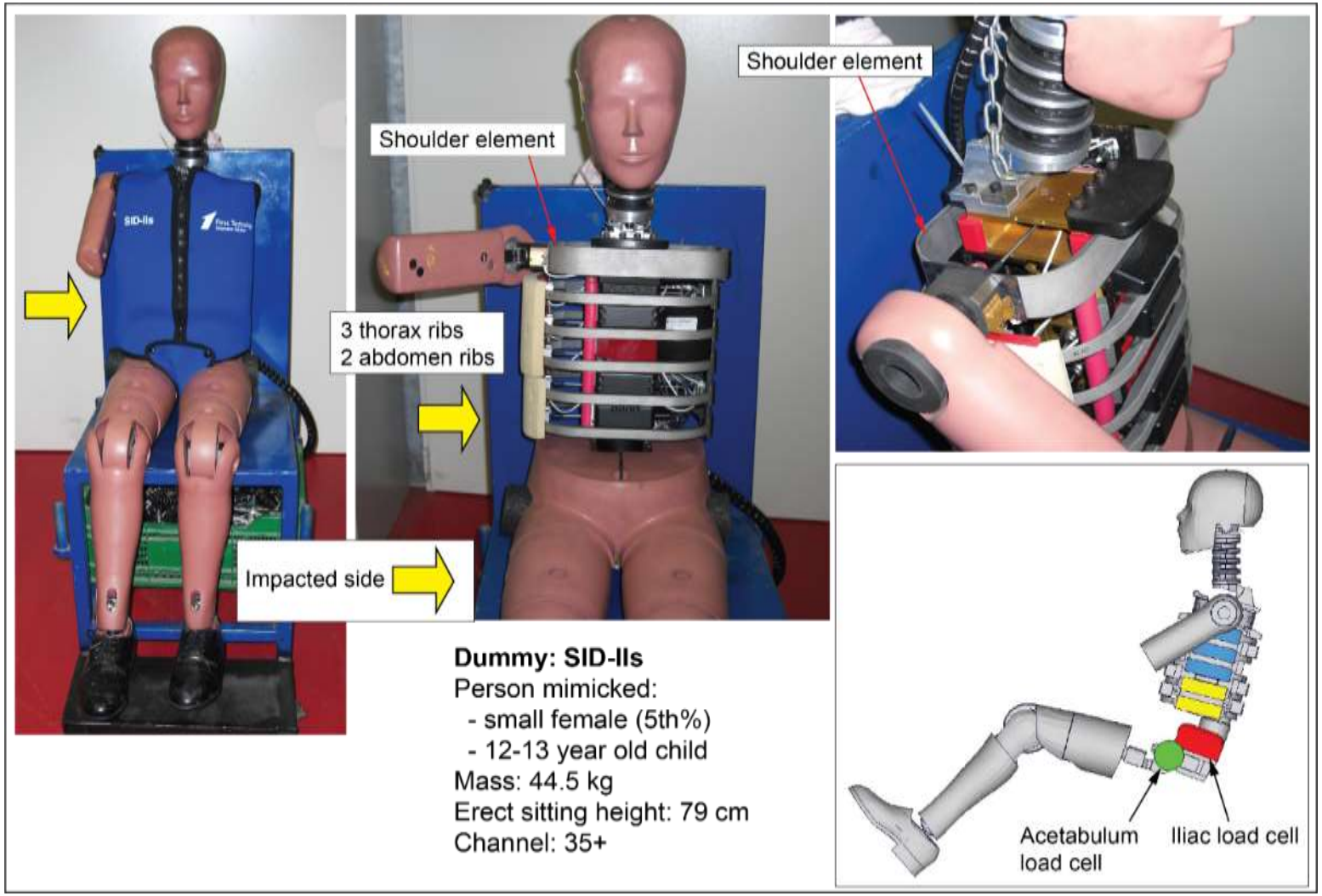
- *Replica un 50% uomo.*
- *E' prescritto dalla maggior parte delle normative.*
- *In passato veniva anche usato in alcuni rating.*



Manichini per urto laterale: SID-IIs (5%)

The SID-IIs was jointly developed in 1994 and 1995 by First Technology Safety Systems (FTSS) and the Occupant Safety Research Partnership (OSRP) of the United States Council for Automotive Research (USCAR) program to evaluate the protection / the risk of side airbags and other advanced restraint systems.

- *Replica un 5% donna.*
- *E' prescritto dalla normativa USA ed è usato in vari rating.*

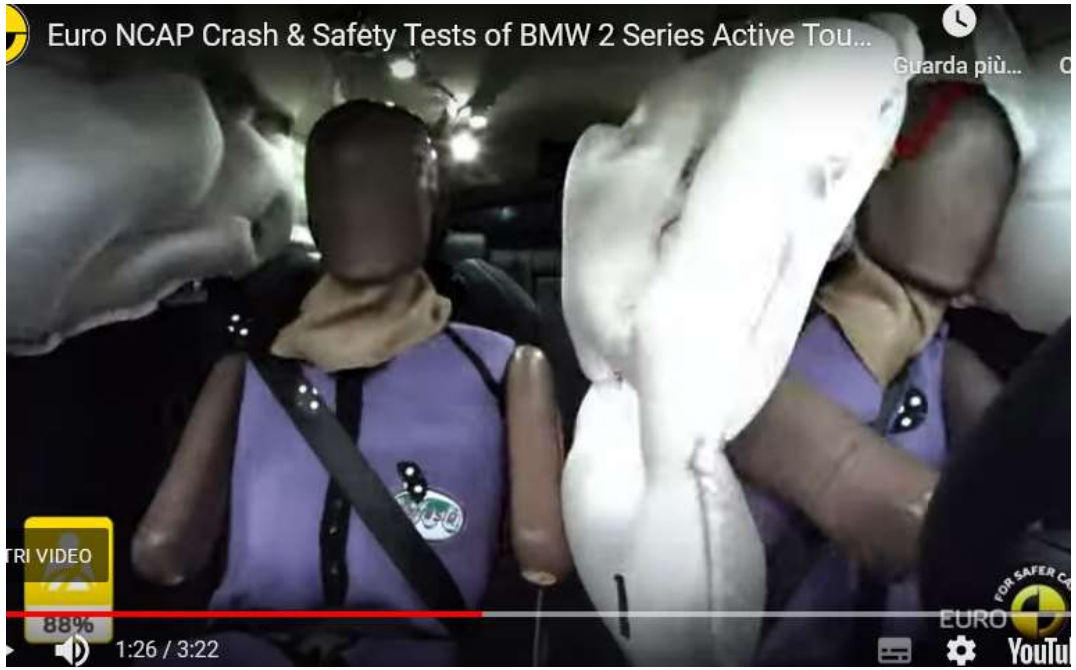


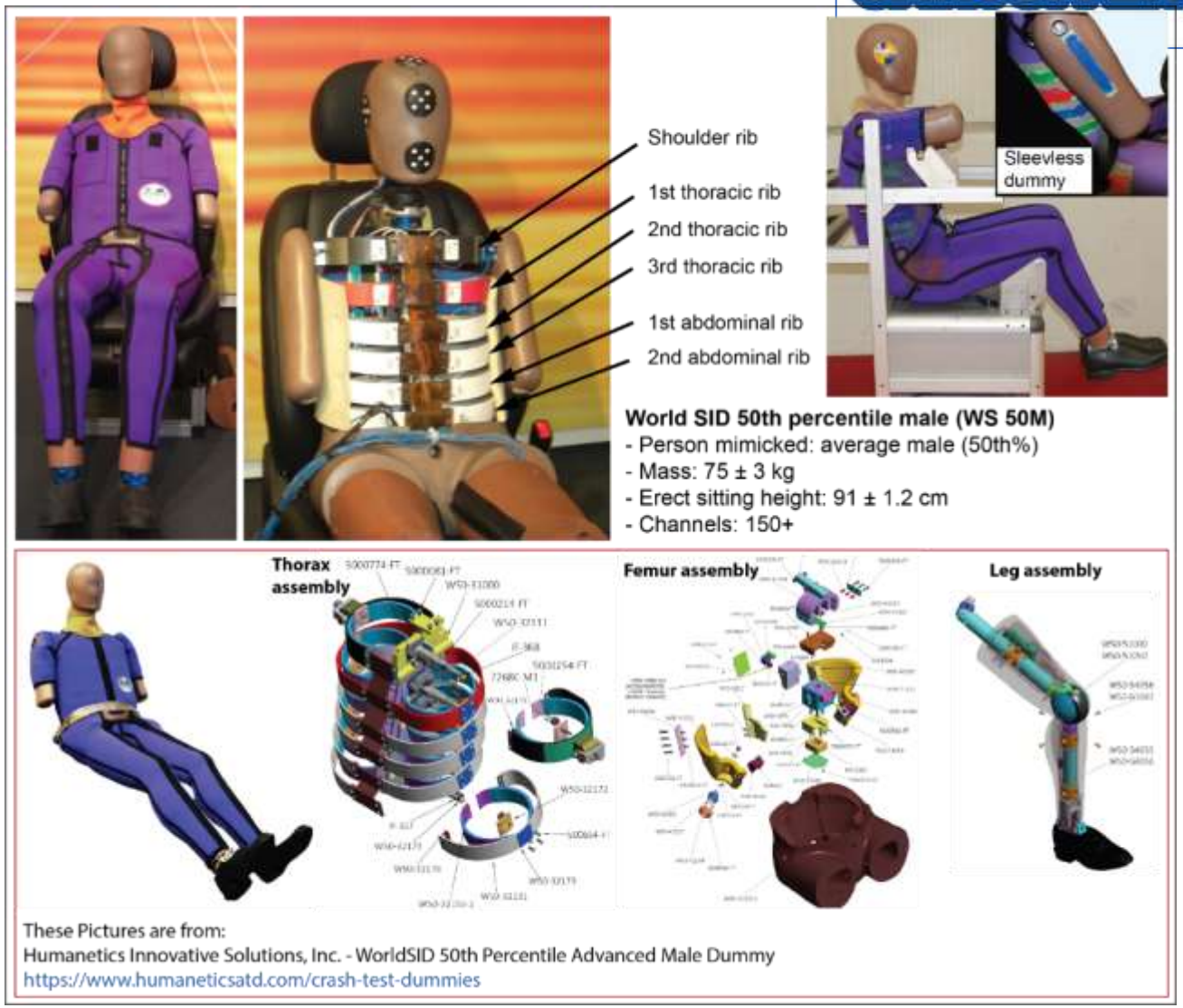
Manichini per urto laterale: evoluzione da ES-2 a World SID

WorldSID is the new generation of side impact dummies replicating the 50th percentile male (WS 50M) and the 5th percentile female (WS 05F) developed by the WorldSID Task Group was formed under the auspices of ISO.

In 2015 the Euro NCAP replaced the ES-2 with the WS 50M dummy and the UN-R135 is already using the WS 50M.

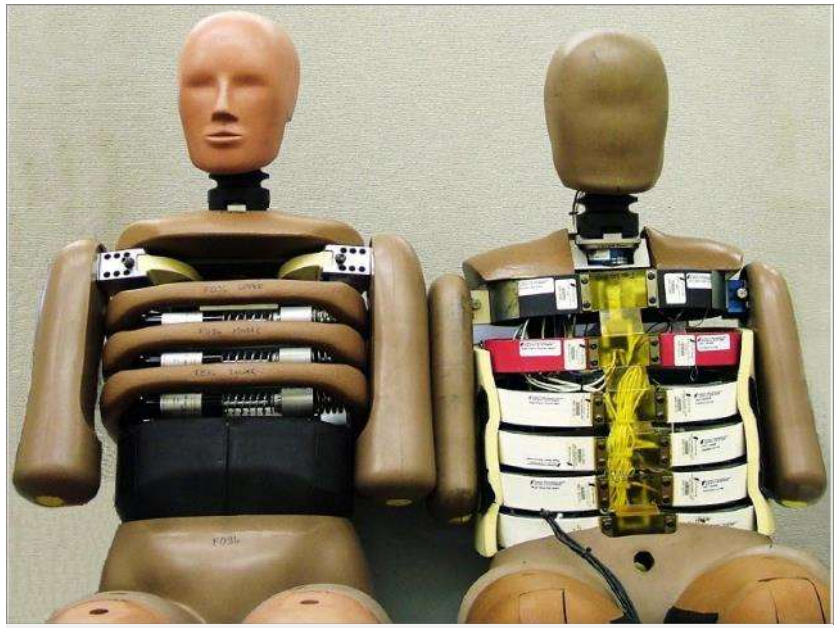
It is expected that in the following years the WS 50M and the WS 05F will replace the ES-2 and the SID-IIs in most of regulations and ratings.





Il World SID replica un 50% uomo.
E' prescritto dalla normativa UNECE ed è usato in vari rating.

Manichini per urto laterale: Confronto ES-2 – WS 50% e SID-IIs – WS 5%



Confronto ES-2 e World SID

Confronto World SID 5% e SID-IIs

WorldSID 5th percentile is a scaled-down version of WorldSID 50th and represents a woman of small stature or an adolescent.

The dummy anthropometry was based on the UMTRI data set (Schneider et al., 1983) and its total weight is 48.3 kg.

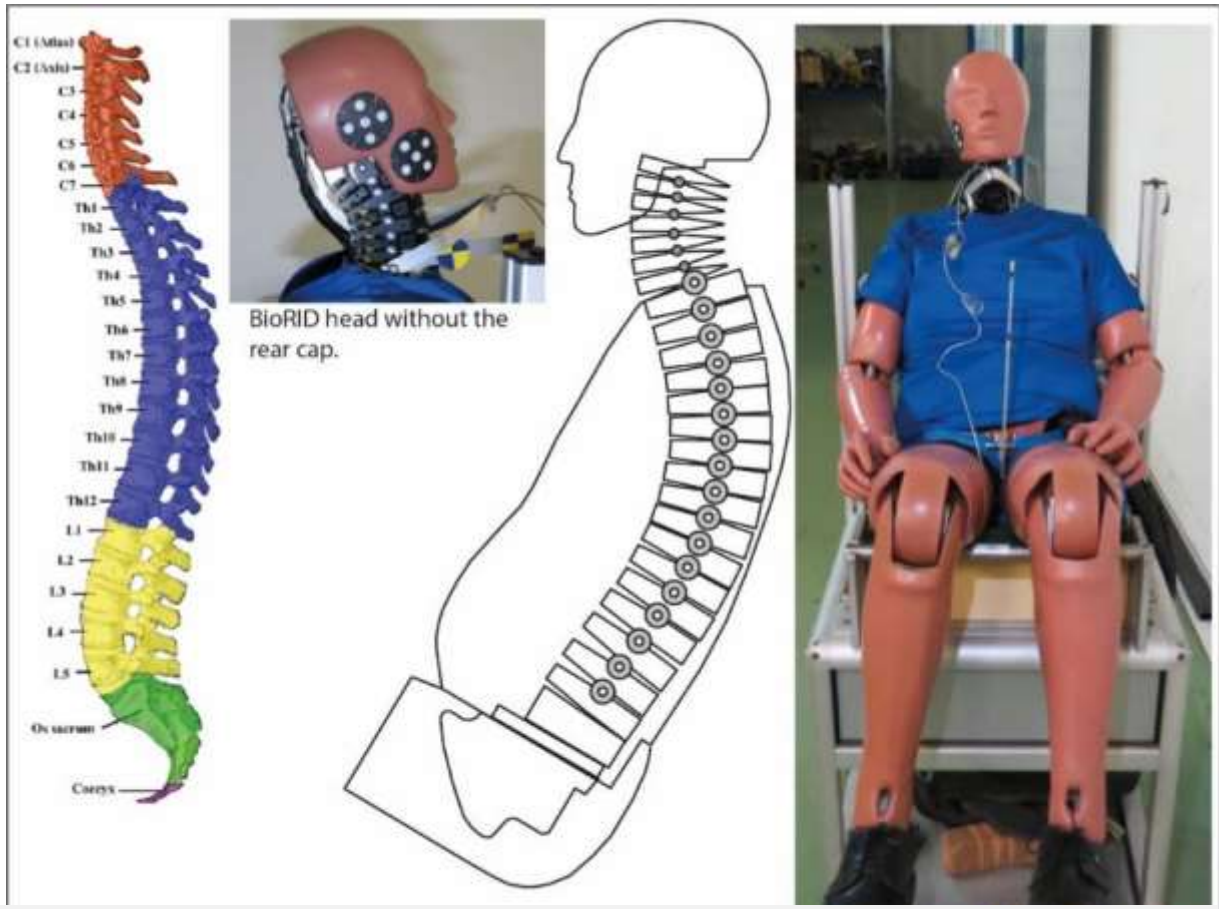
Questi confronti mostrano come il World SID 50% e 5% siano, anche nella forma del busto, molto più simili agli umani dei vecchi ES-2 e SID-IIs.

Manichini per urto posteriore: Bio RID (Biofidelic Rear Impact Dummy)

The Biofidelic Rear Impact Dummy (BioRID) was developed at the end of the 1990s by the Swedish car industry and Chalmers University of Technology (Sweden) in cooperation with Denton.

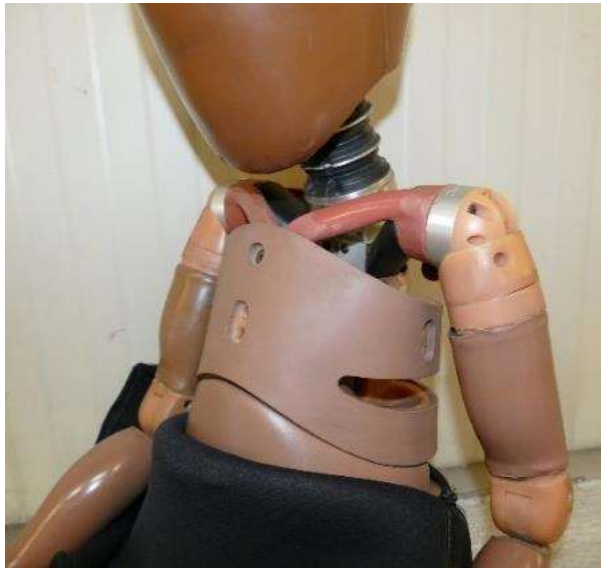
The objective was the evaluation of seat and head restraint performance in rear end collisions.

Prove slitta Euro NCAP per valutazione colpo di frusta.



Bio RID: replica un 50% uomo. E' utilizzato nelle prove slitta per valutare il rischio di colpo di frusta.

Manichini bambino Q3, Q6 e Q10 (UNECE)



Dettagli del Q3

Q10 e Q6: Test MPDB Euro NCAP (urto frontale)

Q6 e Q10: Test AE-MDB Euro NCAP (urto laterale)

Manichini bambino CRABI, HIII 3 anni, HIII 6 anni (USA)

Test Low Risk Deployment (manichino CRABI)

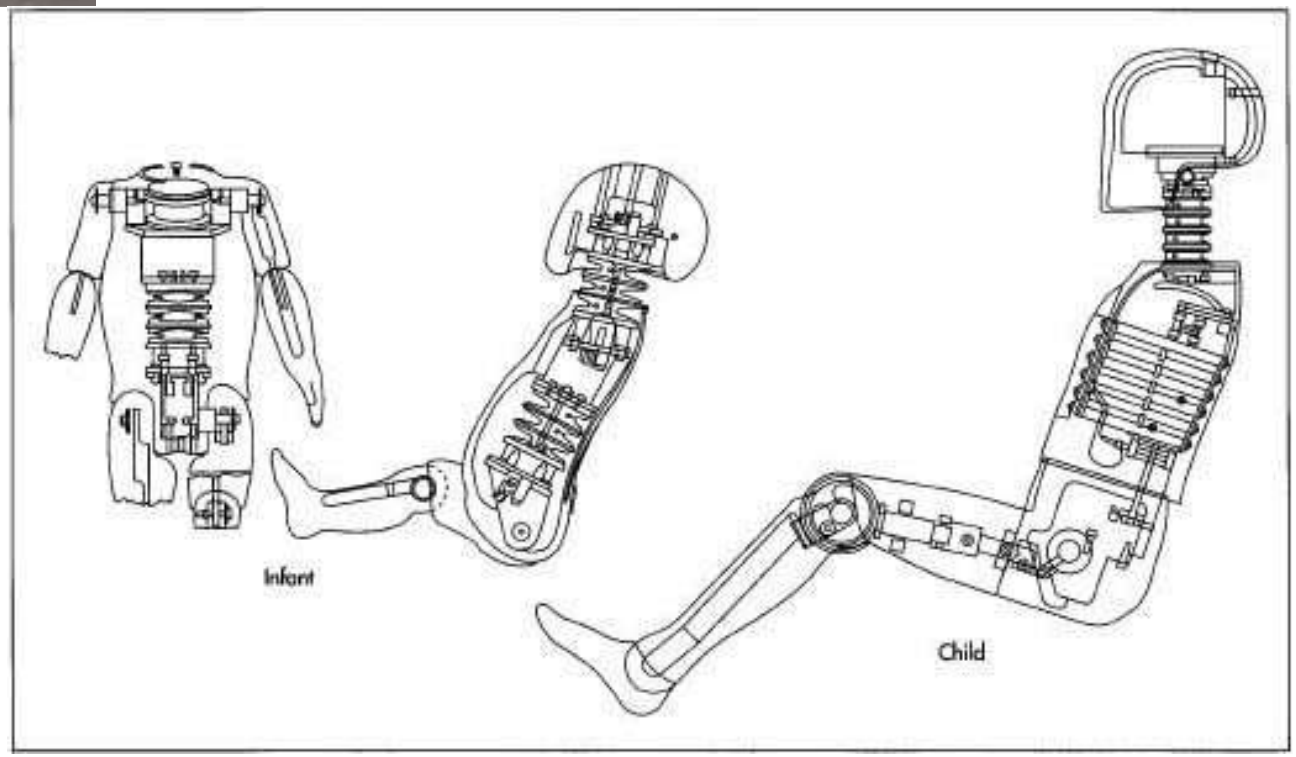
Test OOP (manichino HIII 3 anni)

Test OOP (manichino HIII 3 anni)

Dummy: Hybrid III 3 year old
- Person mimicked: average 3 year old toddler (50th%)
- Mass: 16.2 ± 0.8 kg
- Stature: 94.5 ± 1.3 cm
- Erect sitting height: 54.6 ± 0.8 cm
- Channels: 30+
- Total mobility of the upper leg to the torso

Dummy: Hybrid III 6 year old
- Person mimicked: average 6 year old child (50th%)
- Mass: 23.4 ± 0.7 kg
- Stature: 114.0 ± 1.5 cm
- Erect sitting height: 63.5 ± 1.2 cm
- Channels: 35+

Manichini bambino CRABI, HIII 6 anni, HIII 10 anni (USA)



- **Manichini comunemente usati per sviluppare la sicurezza delle vetture.**
- **Altri manichini rappresentativi di importanti categorie di persone o per approfondire specifiche tematiche.**

Manichini in uso, in sviluppo e tipologie mancanti

Manichini più usati	I modelli di manichini ampiamente usati dai costruttori sono 8 così suddivisi: donna piccola (HIII 5% e SID-IIs), uomo medio (HIII 50%, Thor 50M, ES-2, World SID, Bio-RID), uomo grosso (HIII 95%). Il Thor 50M è prescritto solo dai rating. Ad eccezione del 95%, gli altri sono prescritti dalle normative e dai rating.
Manichini di prossima introduzione	Donne piccole, Thor 5% e World SID 5%, che andranno a sostituire le attuali donne piccole HIII 5% e SID-IIs).
Corporature umane di cui non esiste un corrispondente manichino validato	• Donna di media corporatura. • Persone in sovrappeso. L' Obese ATD di Humanetics non è validato. • Uomo anziano. • Donna piccola per test di urto posteriore (colpo di frusta)

I manichini di Humanetics

https://www.humaneticsgroup.com/products/anthropomorphic-test-devices

- Humanetics è il principale sviluppatore e produttore di manichini oggi esistente.
- Oltre ai manichini fisici, Humanetics sviluppa i corrispondenti modelli numerici da utilizzare nei calcoli FEM.
- Commercializza anche il software RAMSIS fondamentale per le valutazioni ergonomiche, l'installazione delle cinture e dei seggiolini bambino.
- Headquarters in Farmington Hills, Michigan, USA.

Nuovo manichino donna di corporatura medio-piccola e in sovrappeso: 70 anni, 161 cm, peso 73 kg (BMI 29).

https://www.humaneticsgroup.com/products/anthropomorphic-test-devices/vulnerable/elderly-atd

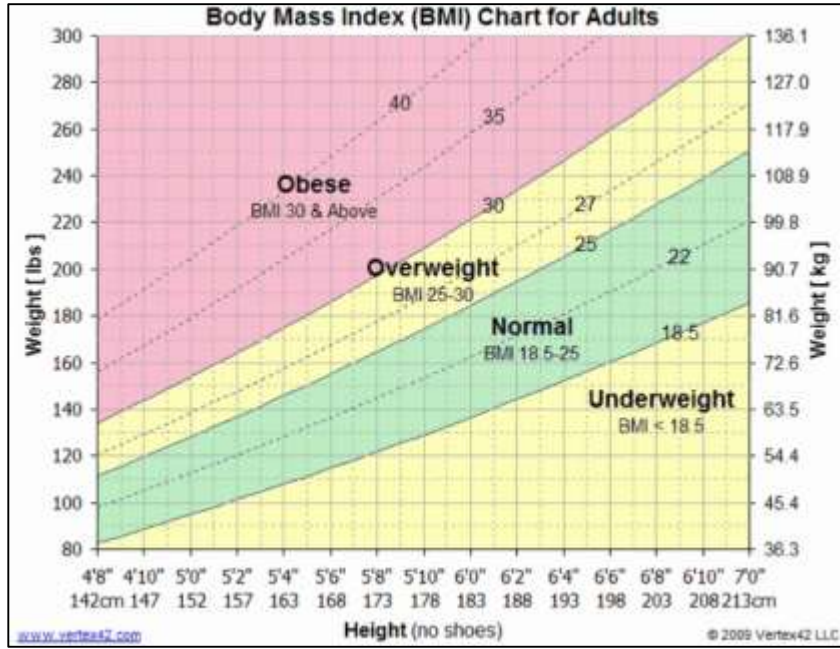
The Elderly ATD represents a 70-year-old elderly female occupant with a height of 161 cm and a BMI of 29.

The anthropometry of the Elderly ATD was developed in part by utilizing actual crash injury research from the International Center for Automotive Medicine (ICAM) and the University of Michigan Transportation Research Institute (UMTRI).

The Elderly ATD features an external body shape designed in cooperation with UMTRI, precise internal organ positioning aided by the use of MRI scan data provided by ICAM, and a revolutionary new organ impact measurement system designed exclusively by Humanetics.

This design allows for precise regional stiffness differences and pressure measurements of internal injuries sustained in potential automotive accidents for this rapidly growing demographic.

- Questo manichino è stato ritenuto un ragionevole compromesso per tenere in maggior considerazione le persone piccole, anziane e in sovrappeso (aimè, la popolazione invecchia e ingrassa).
- Al suo sviluppo hanno partecipato esperti e laboratori europei, giapponesi e americani (anche il Centro Sicurezza Fiat vi ha partecipato).
- Potrebbe un giorno diventare un altro manichino da utilizzare nello sviluppo della sicurezza delle vetture.
- Ma bisogna tener conto che per un nuovo progetto già oggi il costruttore deve fare un centinaio di crash test, oltre 200 prove slitta e migliaia di calcoli FEM.



Manichini per approfondire specifiche tematiche

THOR-AV 5F is the slouched version of the THOR 5th Female dummy. This posture could be typical in vehicles with autonomous driving.

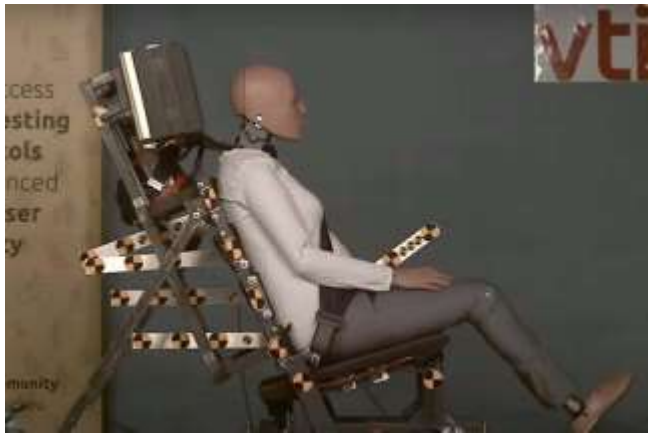
HIII-50M PED: E' la versione dell'Hybrid III con il bacino snodato per poter stare in posizione eretta.

Meno biofedele del manichino POLAR.

Pedestrian dummy **POLAR**

POWERED TWO-WHEELER DUMMY

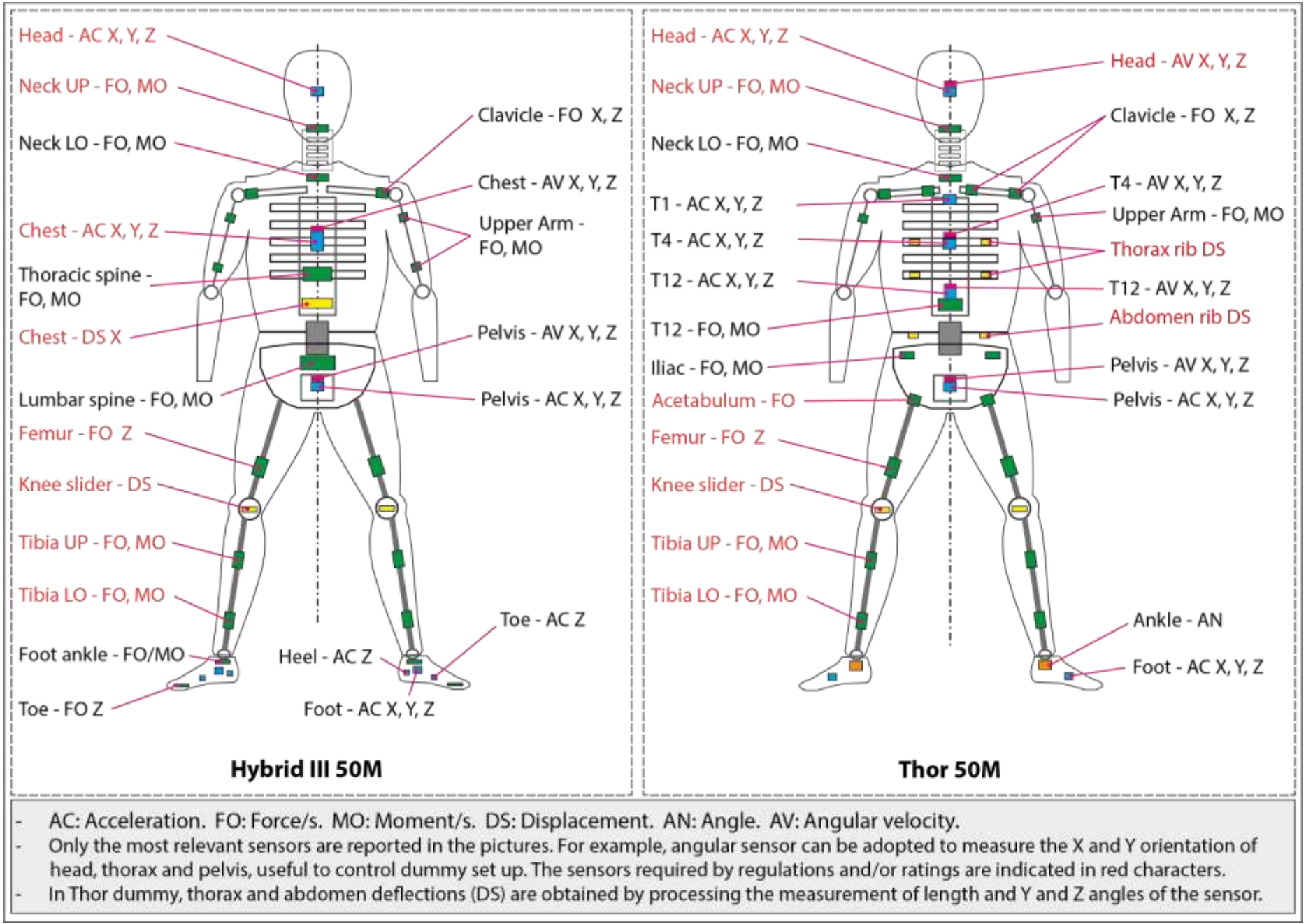
Obese ATD: It represents a person of 124 kg capable of measuring belt and airbag loads generated from heavier occupants during crash events.



Pregnant female dummy. It helps researchers understand how seatbelts and airbags affect both the mother and the fetus during a collision.

Strumentazione, dati acquisiti e biofedeltà dei manichini

Strumentazione dei manichini



- AC: Acceleration. FO: Force/s. MO: Moment/s. DS: Displacement. AN: Angle. AV: Angular velocity.
- Only the most relevant sensors are reported in the pictures. For example, angular sensor can be adopted to measure the X and Y orientation of head, thorax and pelvis, useful to control dummy set up. The sensors required by regulations and/or ratings are indicated in red characters.
- In Thor dummy, thorax and abdomen deflections (DS) are obtained by processing the measurement of length and Y and Z angles of the sensor.

Strumentazione dei manichini

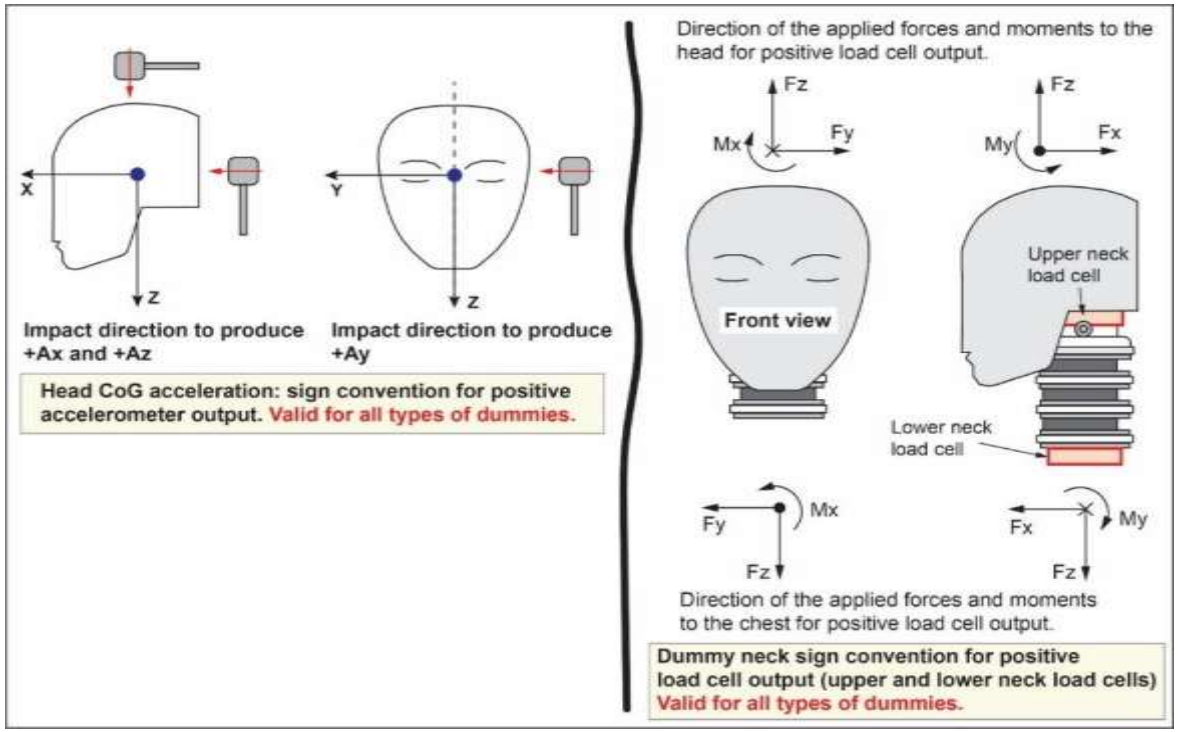
Location	Transducers	Channels / parameters
Head	Head Accelerometers (CG)	Ax, Ay, Az
	Head Accelerometers (top, side, rear)	Ax, Ay, Az
	Head CG Angular Rate Sensor	Ωx, Ωy, Ωz
	Head Tilt Sensor (static)	Rx, Ry
	Face Load Cell -Left / Right Eye	Fx, Fx
	Face Load Cell -Left / Right Cheek	Fx, Fx
	Face Load Cell - Chin	Fx
Neck	O.C. Rotary Potentiometer	Ωy
	Neck Spring load Cell (Front / Rear)	Fz
	Neck Tilt Sensor (static)	Rx, Ry
	Upper Neck Load Cell	Fx, Fy, Fz, Mx, My, Mz
	Lower Neck Load Cell	Fx, Fy, Fz, Mx, My, Mz
Shoulder & Arm	Clavicle Load Cell SD3 (Left & Right)	Fx, Fz (medial and lateral)
	Arm Load Cell (Left & Right)	Fx, Fz, Mx, My, Mz
Spine & Thorax	T1 Accelerometer (Tri-pack)	Ax, Ay, Az
	Mid Sternum Accelerometer (Tri-pack)	Ax, Ay, Az
	Thorax Accelerometer (Tri-pack)	Ax, Ay, Az
	T12 Accelerometer (Tri-pack)	Ax, Ay, Az
	Thoracic Tilt Sensor (static)	Rx, Ry
	Lumbar Tilt Sensor (static)	Rx, Ry
	T12 Load Cell	Fx, Fy, Fz, Mx, My
	IR-TRACC Upper Thorax (Left & Right)	Dx, Ry, Rz
	IR-TRACC Lower Thorax (Left & Right)	Dx, Ry, Rz
Abdomen	Upper Abdomen Accelerometer	Ax
	IR-TRACC Abdomen (Left & Right)	Dx, Ry, Rz
Pelvis	Pelvis CG Accelerometer (Tri-pack)	Ax, Ay, Az
	Pelvic Tilt Sensor (static)	Rx, Ry
	Acetabulum Load Cell (Left & Right)	Fx, Fy, Fz
	A.S.I.S. Load Cell (Left & Right)	Fx, My
Femur	Femur Load Cell (Left & Right)	Fx, Fy, Fz, Mx, My, Mz
Lower Extremity (Left & Right)	Knee Shear Displacement Potentiometer	Dx
	Upper Tibia Load Cell (Left & Right)	Fx, Fy, Fz, Mx, My
	Lower Tibia Load Cell (Left & Right)	Fx, Fy, Fz, Mx, My
	Tibia Accelerometer (Left & Right)	Ax, Ay
	Achilles Load Cell (Left & Right)	Fz
	Ankle Rotation Potentiometer X Y Z (Left & Right)	Θx, Θy, Θz
	Foot Acceleration (Left & Right)	Ax, Ay, Az

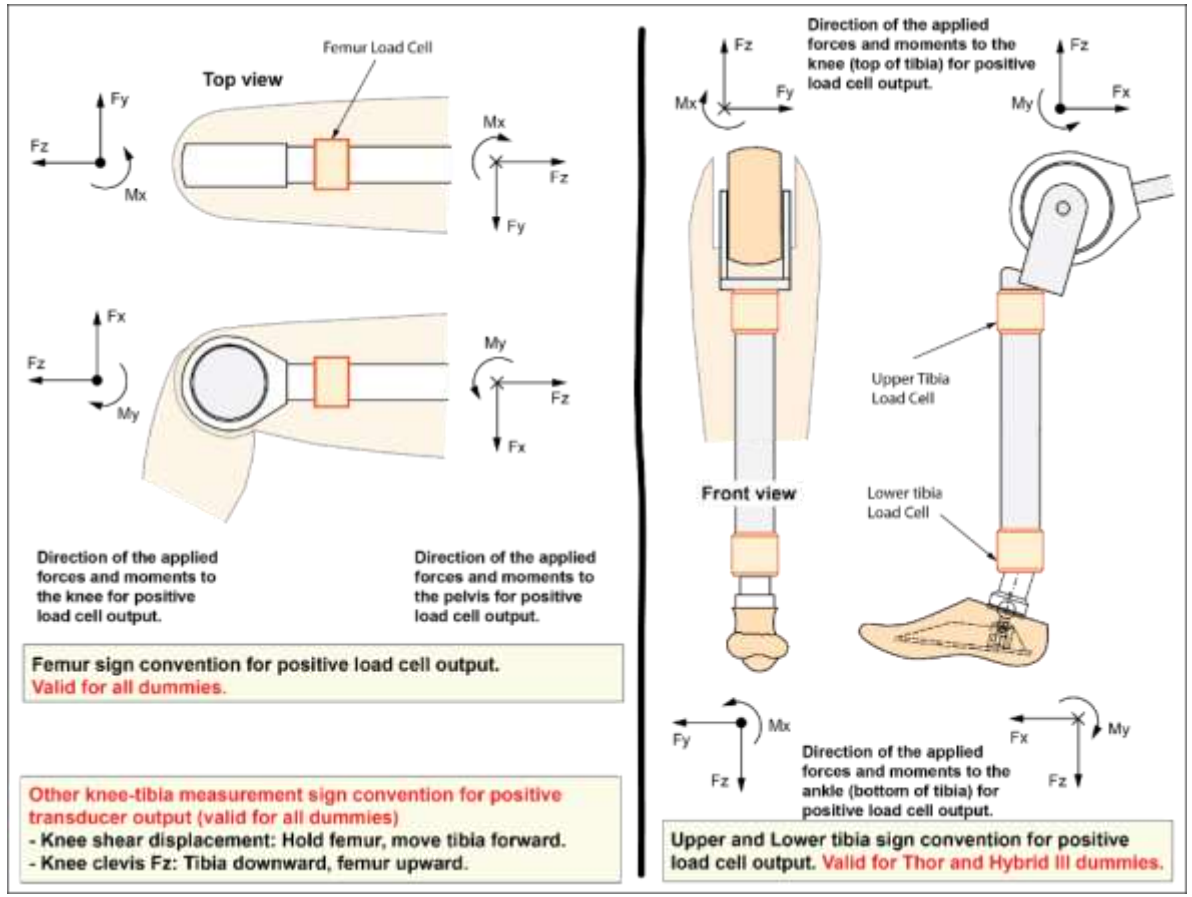
Strumentazione del manichino Thor

Dummy Front Left Seat	Dummy Front Right Seat	Parameter measured
11HEAD0000H3ACXP	13HEAD0000H3ACXP	Head acceleration X
11HEAD0000H3ACYP	13HEAD0000H3ACYP	Head acceleration Y
11HEAD0000H3ACZP	13HEAD0000H3ACZP	Head acceleration Z
11NECKUP00H3FOXP	13NECKUP00H3FOXP	Neck Upper Force X
11NECKUP00H3FOYP	13NECKUP00H3FOYP	Neck Upper Force Y
11NECKUP00H3FOZP	13NECKUP00H3FOZP	Neck Upper Force Z
11NECKUP00H3MOXP	13NECKUP00H3MOXP	Neck Upper Moment X
11NECKUP00H3MOYP	13NECKUP00H3MOYP	Neck Upper Moment Y
11NECKUP00H3MOZP	13NECKUP00H3MOZP	Neck Upper Moment Z
11CHST0000H3ACXP	13CHST0000H3ACXP	Chest acceleration X
11CHST0000H3ACYP	13CHST0000H3ACYP	Chest acceleration Y
11CHST0000H3ACZP	13CHST0000H3ACZP	Chest acceleration Z
11CHST0000H3DSXP	13CHST0000H3DSXP	Chest deflection
11PELV0000H3ACXP	13PELV0000H3ACXP	Pelvis acceleration X
11PELV0000H3ACYP	13PELV0000H3ACYP	Pelvis acceleration Y
11PELV0000H3ACZP	13PELV0000H3ACZP	Pelvis acceleration Z
11FEMRLE00H3FOZP	13FEMRLE00H3FOZP	Femur Left Force Z
11FEMRRI00H3FOZP	13FEMRRI00H3FOZP	Femur Right Force Z
11KNSLLE00H3DSXP	13KNSLLE00H3DSXP	Knee Left sliding
11KNSLRI00H3DSXP	13KNSLRI00H3DSXP	Knee Right sliding
11TIBILELOH3FOXP	13TIBILELOH3FOXP	Tibia Left Lower Force X
11TIBILELOH3FOYP	13TIBILELOH3FOYP	Tibia Left Lower Force Y
11TIBILELOH3FOZP	13TIBILELOH3FOZP	Tibia Left Lower Force Z
11TIBILELOH3MOXP	13TIBILELOH3MOXP	Tibia Left Lower Moment X
11TIBILELOH3MOYP	13TIBILELOH3MOYP	Tibia Left Lower Moment Y
11TIBILEUPH3FOXP	13TIBILEUPH3FOXP	Tibia Left Upper Force X
11TIBILEUPH3FOYP	13TIBILEUPH3FOYP	Tibia Left Upper Force Y
11TIBILEUPH3FOZP	13TIBILEUPH3FOZP	Tibia Left Upper Force Z
11TIBILEUPH3MOXP	13TIBILEUPH3MOXP	Tibia Left Upper Moment X
11TIBILEUPH3MOYP	13TIBILEUPH3MOYP	Tibia Left Upper Moment Y
11FOOTLE00H3ACXP	13FOOTLE00H3ACXP	Foot Left acceleration X
11FOOTLE00H3ACYP	13FOOTLE00H3ACYP	Foot Left acceleration Y
11FOOTLE00H3ACZP	13FOOTLE00H3ACZP	Foot Left acceleration Z
The letter P at the end of code specifies that the signal in pre-filtered >CFC 1000 (Table A.13)		

Codice dei trasduttori secondo la ISO

Trasduttori per misurare accelerazioni, forze, spostamenti, …



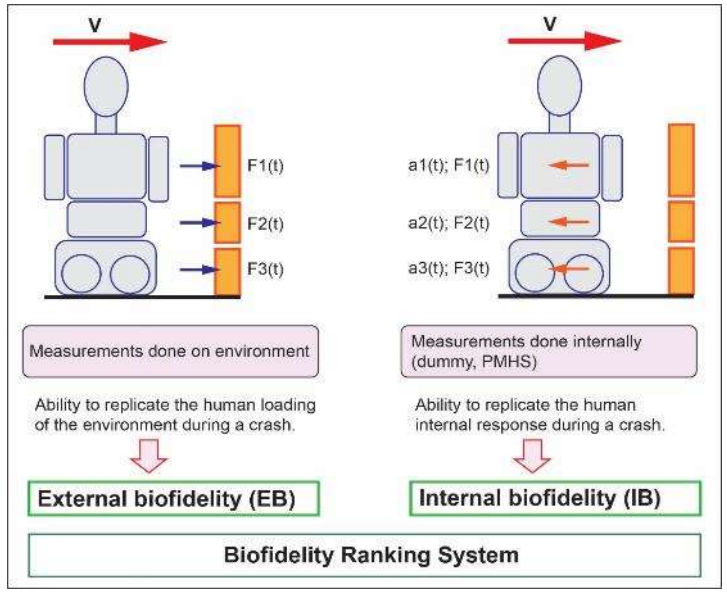


Esempi di trasduttori e relativa convenzione sui segni

Biofedeltà dei manichini

Definizione di biofedeltà

The biofidelity is the measure of the ability of a dummy to replicate the response of human body during accidents.

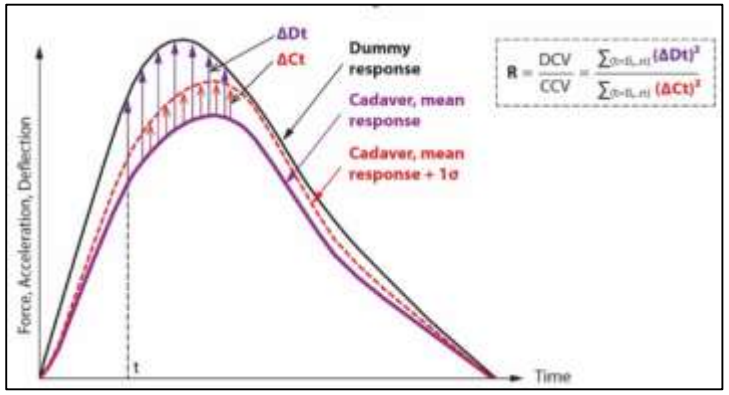


Difficoltà

Achieving a good humanlike response is the most difficult task in the design of dummies. To be human-like the dummy shall be structurally close to the human body, i.e., it must correctly reproduce key characteristics of the bones and of many organs and muscles.

Most of the difficulties come from:

- The complexity of human body – the intricate geometry and the not homogeneous internal structure of bones, flesh, internal organs;
- The necessity of dummies to resist many times the very high loads of crash tests;
- The necessity to measure various biomechanical parameters necessary for the determination of the risk of injuries.



Struttura

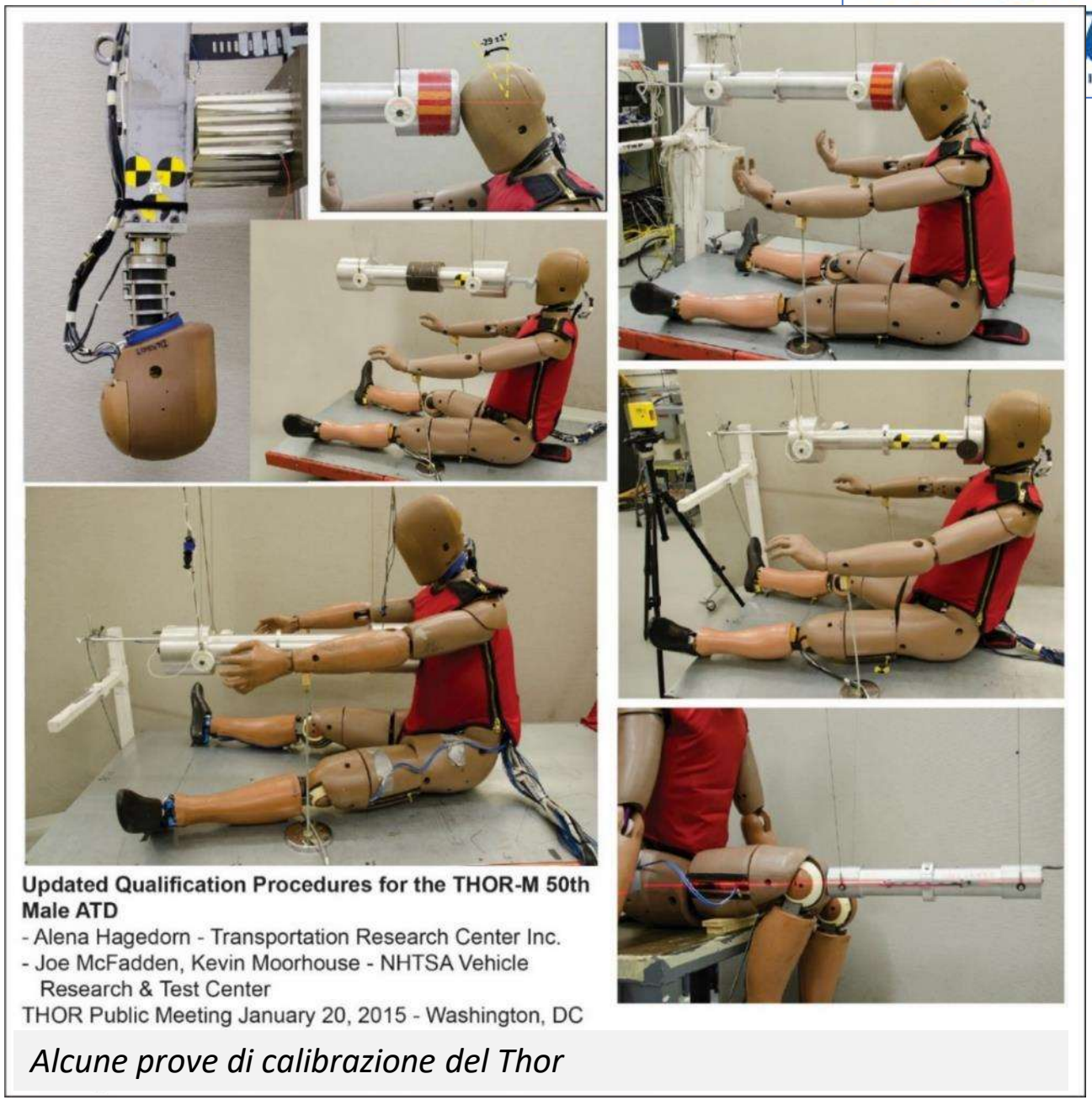
Bones are usually made of metal like aluminum, brass, steel or plastic – depending on design, purpose, and body parts. Flesh and skin are made of composite materials: acetal and vinyl resins, elastomers, urethane and polyurethane foam. The spine is a combination of metals and rubber. Internal organs are usually not reproduced.

Calibrazione dei manichini

Per garantire la corretta capacità di misura, i manichini devono essere periodicamente calibrati. L'Euro NCAP prescrive la ricalibrazione dei manichi usati nel rating dopo ogni serie di tre prove.

Each dummy is calibrated after a certain number of crash tests (usually from 3 to 6), after any crash test in which one or more transducer reading is above the allowed limit, and in case of damage to dummy components.

The NHTSA specify calibration tests in the 49 CFR Part 572, https://www.govinfo.gov/content/pkg/CFR-2011-title49-vol7/pdf/CFR-2011-title49-vol7-part572.pdf. In this document are prescribed the tests to be done for the different parts of each dummy and subsystem specified by the regulations of FMVSS. All the other regulations, included the UNECE regulations, refer to the NHTSA procedures for dummy calibration.



Alcune prove di calibrazione del Thor

Valutazione del rischio di lesioni

Lesioni e Biomeccanica

Lesione (injury)

An injury is a deformation or rupture of a living structure beyond their failure limits, e.g., bone fracture or heart fibrillation.

Biomeccanica

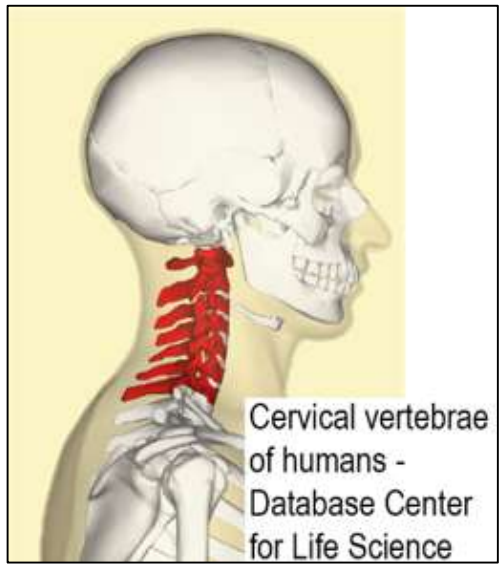
Biomechanics is the application of mechanical principles on living organisms to understand how the forces acting upon and within a biological structure result in a failure of the structure, i.e., in an injury.

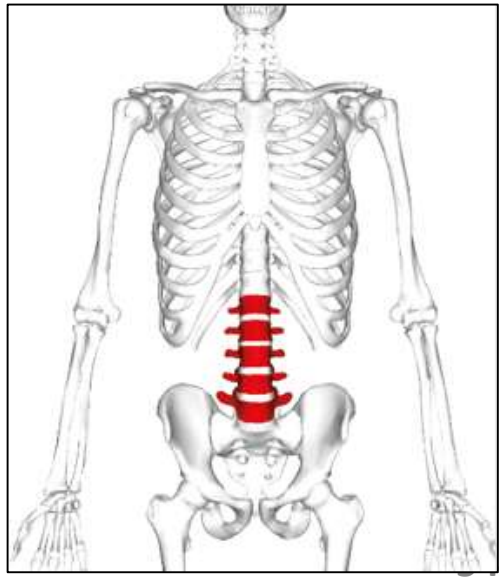
Valutazione del rischio di lesioni

To assess injury risk, is necessary to know the tolerance level of the involved body organs.

Variabilità del rischio

Human tolerance varies greatly with age and gender. For example, elderly people, women, and children have a lower tolerance level than a mid-age adult male.


Cervical vertebrae of humans - Database Center for Life Science



Come si passa dalle misure biomeccaniche con i manichini al rischio di lesione

Dummy transducers

- Linear Acceleration Ax, Ay, Az
- Angular Acceleration Ωx, Ωy, Ωz
- Angular Rotation αx, αy, αz
- Deflection Dx, Dy, Dz
- Force Fx, Fy, Fz
- Moment Mx, My, Mz

Biomechanical parameters

- Resultant Acceleration
- Angular Velocity
- Resultant Rotation
- Resultant Deflection
- Resultant Force
- Resultant Moment
- Other biomechanical parameters based on the above data: HIC, NIJ, TI, LIC, ….

Calculation of Risk of Injury for each biomechanical parameter

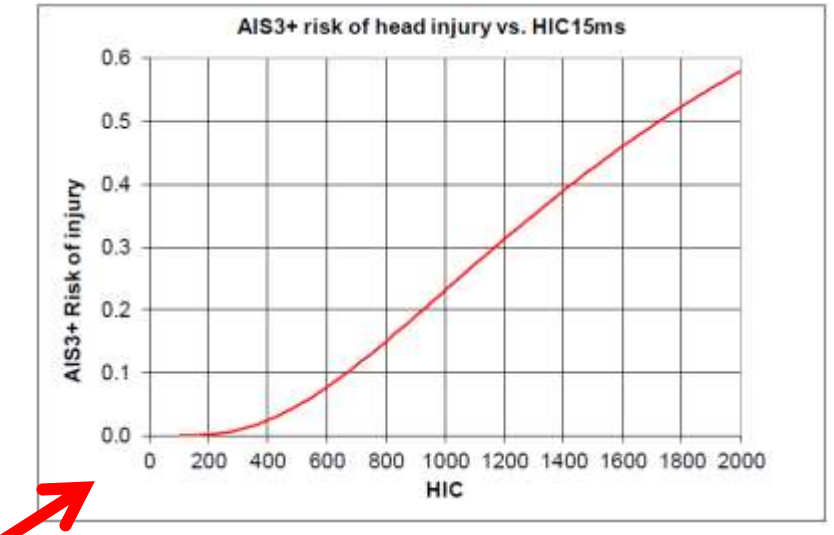
Relazione tra valori biomeccanici e rischio di lesione (esempi)

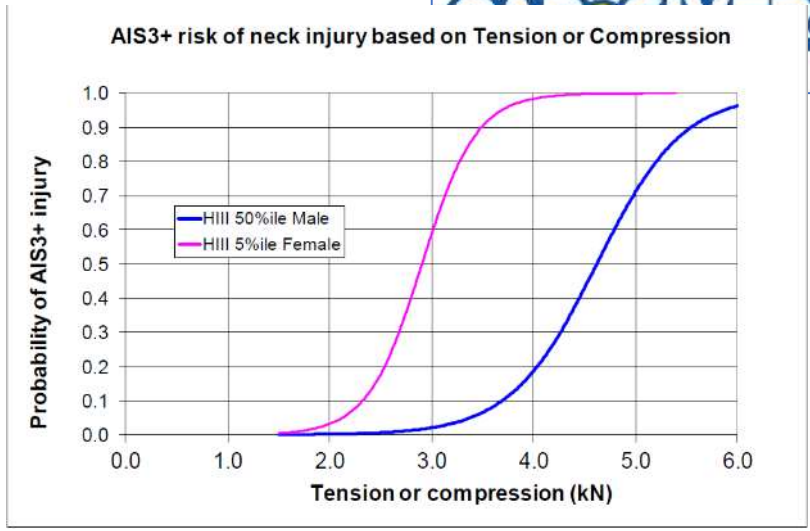
$$HIC = \left[(t_2 - t_1) \left\{ \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a(t) \cdot dt \right\}^{2.5} \right] max$$

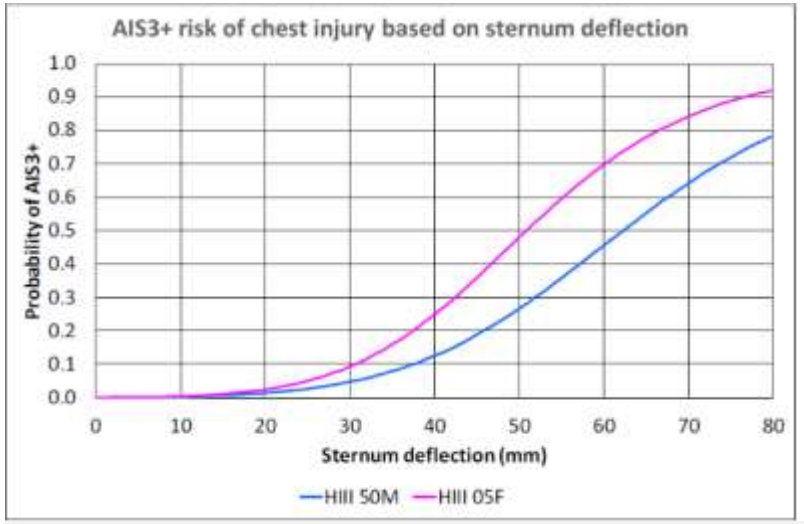
Calcolo dell'Head Injury Criterion (HIC). L'HIC è un parametro che misura la sollecitazione agente sul cranio.

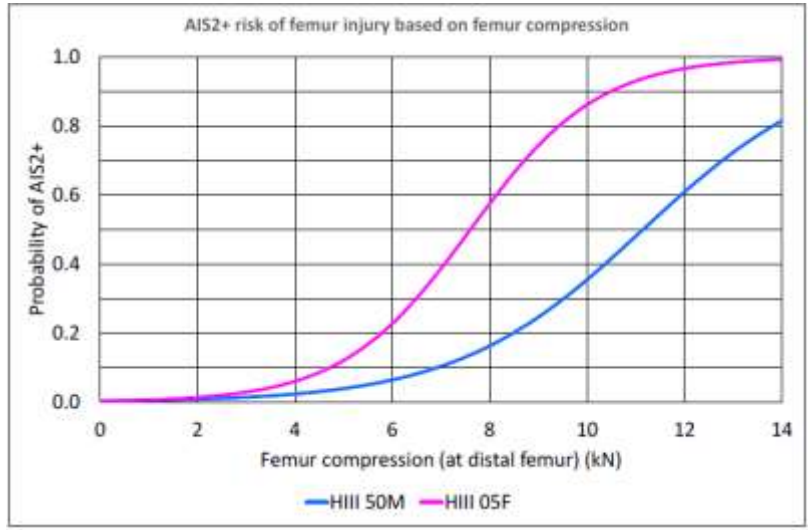
$$p(AIS \geq 3) = \emptyset \left[\frac{ln(HIC_{15}) - 7.45231}{0.73998} \right]$$

Probabilità di lesione AIS≥3 al cervello in base al valore di HIC.









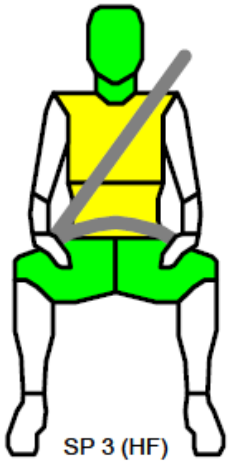
Per la maggior parte dei parametri biomeccanici è stata sviluppata la relazione tra valore biomeccanico e rischio di lesione (a uno specifico organo del corpo umano e per una specifica corporatura).

Queste relazioni sono fortemente non lineari – arrivati ad un certo valore biomeccanico la lesione è certa.

Le valutazioni biomeccaniche nei rating

Criterion		Driver SP 1 (HF)				Passenger SP 3 (HF)			
Head & Neck	(6)			3.52	*			6.00	*
Head									
HIC 15		559		4.22	*	454		6.00	*
Acceleration Resultant		79.44	g			66.93	g		
Neck									
Shear Force Fx		0.37	kN	6.00	*	0.55	kN	6.00	*
Tensile Force Fz+		2.08	kN	3.52	*	1.08	kN	6.00	*
Extension Myoc-		-31.35	Nm	6.00	*	-19.52	Nm	6.00	*
Chest	(6)			3.99	*			4.07	*
Deflection [1]		-30.7	mm	3.99	*	-30.4	mm	4.07	*
Femur	(4)			4.00	*			4.00	*
Femur Force Fz-									
Left		-0.31	kN	4.00	*	-1.29	kN	4.00	*
Right		-0.45	kN	4.00	*	-0.86	kN	4.00	*
Total Assessment [2]	(16)	71.9	%	11.51		87.9	%	14.07	

Notes:
1) based on polynomial cal.
2) without modifiers



Valori biomeccanici e punteggio in Euro NCAP.

Punteggio

Valori biomeccanici

Biomechanical data			Frontal Impact Driver (HIII 50M) Test result	Risk of injury
Head	HIC15	-	350	1.56%
Neck	Nij	-	0.50	9.60%
	Tension	kN	2.085	0.24%
	Compression	kN	2.0	0.20%
Chest	Deflection	mm	31.5	5.48%
Femur	Compression	kN	5.0	3.93%
Joint Probability of Injury				19.19%

Valori biomeccanici e rischio di lesione in USNCAP.

Valori biomeccanici

Rischio di lesioni

- Solo lo USNCAP, partendo dai valori biomeccanici, valuta il rischio di lesioni alle diverse parti del corpo.
- Gli altri rating basano il punteggio sul valore biomeccanico.

I manichini nello sviluppo dei sistemi di ritenuta

Sviluppo dei sistemi di ritenuta: criteri e compromessi

Vincoli ergonomici

L'automobile deve poter trasportare in comodità e sicurezza le persone di ogni corporatura. Tipicamente l'interno vettura è dimensionato considerando come limiti degli occupanti adulti il 5% donna e il 95% uomo. Inoltre, per cinture e sedili si cerca di garantire un decente accomodamento per il bambini di 6 o più anni.

Pertanto sedile, volante, plancia, interni vari hanno una geometria conforme a tali limiti. Questo comporta che la donna piccola avrà un sedile più grande di quello ottimale per lei, mentre chi è grande e in sovrappeso lo troverà piuttosto piccolo.

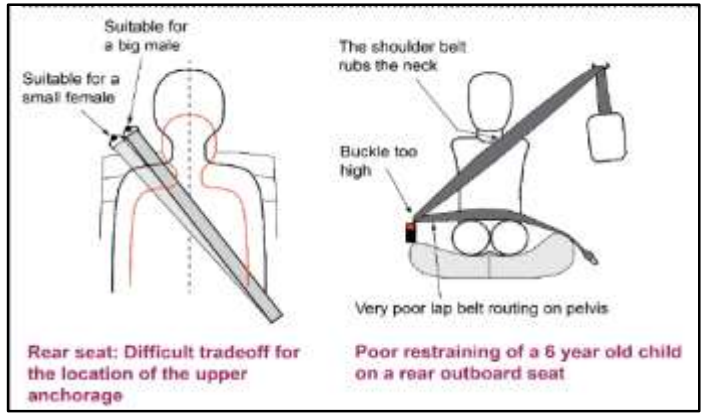
Lo stesso vale per gli altri elementi interni.

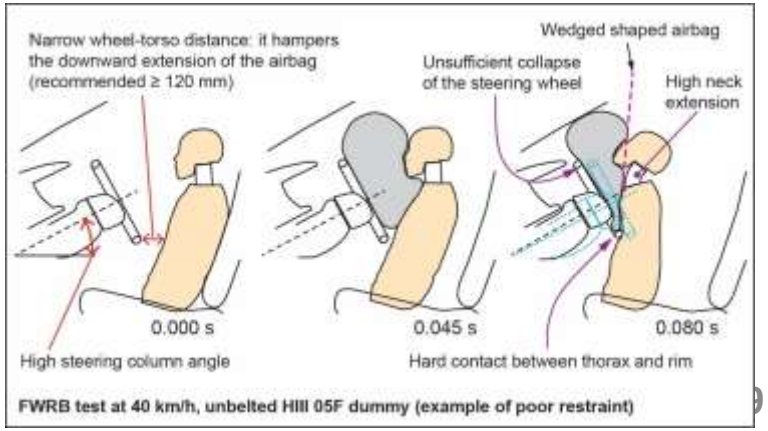
Inconvenienti

Sedile e cintura: il trattenimento del bacino (importante per evitare il submarining) sarà meno buono per una donna piccola. Questo comporta che la donna piccola avrà un sedile più grande di quello per lei ottimale, mentre chi è grande e in sovrappeso lo troverà piuttosto piccolo.

Discorso simile vale per altri elementi come gli airbag, la plancia, i comandi, ecc.

In particolare per la donna piccola i pedali saranno meno raggiungibili, l'ancoraggio cintura (sul montante B) troppo indietro e il nastro striscerà vicino al collo, ……





Sviluppo dei sistemi di ritenuta: criteri e compromessi

Dimensionamento del sistema di ritenuta

Il sistema di ritenuta viene dimensionato con crash test in cui sono montati i seguenti manichini:

1) 5% donna – verifica rispetto delle normative e ricerca del massimo risultato nei rating.
2) 50% uomo – verifica rispetto delle normative e ricerca del massimo risultato nei rating.
3) 95% uomo – verifica resistenza di tutti gli elementi di ritenuta e sufficiente protezione delle corporature grosse.

In urto frontale sono eseguiti i crash test di barriera rigida, ODB, MPDB, ecc. Analogamente in urto laterale. In sostanza, le corporature grosse / le persone in sovrappeso sono quelle a cui viene dedicata minore attenzione (non per cattiveria ma per oggettive difficoltà tecniche).

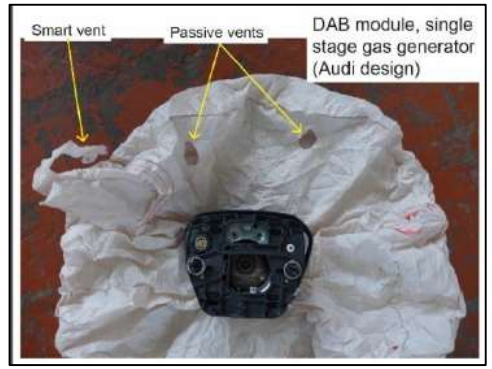
Dispositivi per adeguare la protezione alla corporatura dell'occupante

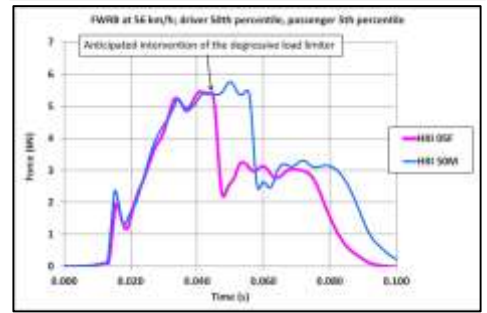
Airbag:

- In USA viene usata la soluzione doppio stadio, proprio per proteggere meglio le corporature piccole.
- Alcune vetture (in USA e Europa) hanno lo smart venting che adegua la durezza del bag alla severità dell'urto e alla corporatura dell'occupante.

Cinture:

- In alcune vetture (in USA e Europa) il limitatore di carico è degressivo per migliorare la protezione delle corporature piccole.





Sviluppo dei sistemi di ritenuta: criteri e compromessi

Sintesi

- Garantendo protezione alla donna piccola e all'uomo medio (con verifica semplificata anche con l'uomo grande, manichino HIII 95%) sono ragionevolmente protette le corporature intermedie.
- Rimangono scoperte le persone obese e quelle anziane.
- Ma dobbiamo anche tener conto che adottare un sistema di ritenuta che sia così sofisticato da proteggere in modo ottimale le principali tipologie di umani comporta notevoli complessità ed elevati costi.
- Possiamo anche fare la vettura più sicura al mondo ma se nessuno (o pochi) la comperano causa del suo elevato prezzo non abbiamo migliorato la sicurezza sulle strade.
- A fronte di un sistema di ritenuta non ottimale per alcune tipologie di persone, bisogna considerare che esistono altri fattori ancor più importanti per la sicurezza:
  - ✓ Automobile: Età del modello/tipo di modello/massa.
  - ✓ Guidatore: Stile di guida/attenzione /distrazione, corretto uso della cintura (rischio submarining), regolazione appoggiatesta (rischio whiplash), ….

Produzione e costo dei manichini

Produttori di manichini e strumentazione

https://www.humaneticsgroup.com/

https://www.cellbond.com/products/crash-test-dummies/

https://www.kistler.com/IT/en/vehicle-safety/C00000078

https://www.strainsense.co.uk/sensors/crash-test-and-atd-sensors/

Produttori di manichini

- Humanetics (USA)
- Cellbond (UK) ma solo alcuni modelli

Produttori di trasduttori

- Kistler
- Denton
- Strainsense

Costo dei manichini

Costo manichini adulto strumentati

Da centomila a quasi un milione di euro. Il più costoso è il Thor, a seguire il World SID.

I meno costosi sono i vecchi Hybrid III.

Quanti manichini servono in un laboratorio crash

Considerando che:

a) Nella stessa giornata possono essere eseguite fino a tre prove crash, e che in contemporanea possono essere fatte altrettante prove slitta,

b) Che i manichini necessitano di calibrazione e quindi restano indisponibili per vari giorni (o settimane),

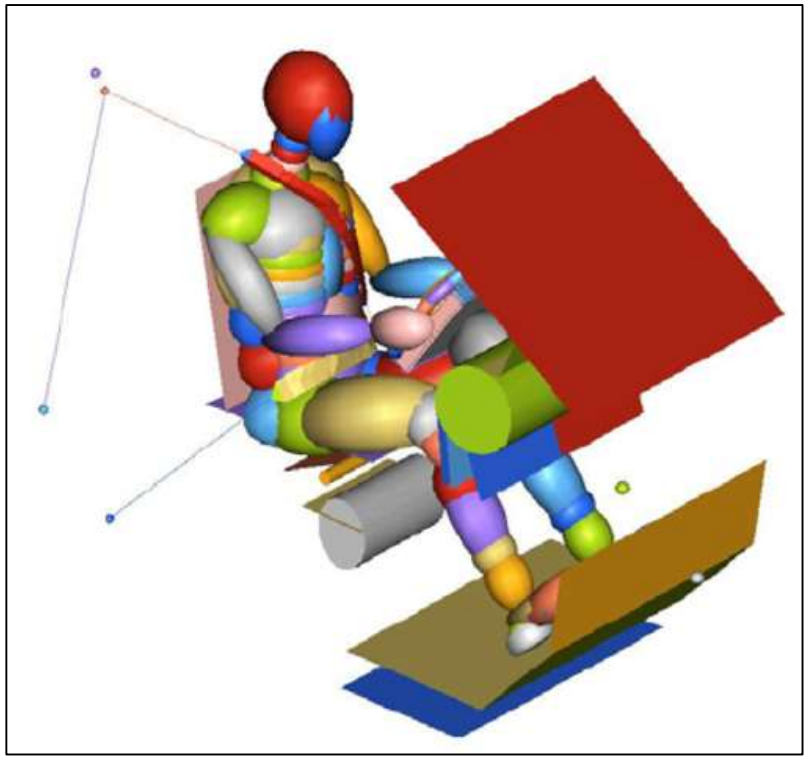
si può stimare che servano almeno:

- 4-5 manichini HIII 50%
- 3-4 manichini HIII 5%
- 2 manichini HIII 95%
- 1-2 Thor
- 2-3 ES-2 + 1-2 ES-2re
- 2-3 World SID
- 2-3 SID-IIs
- 1 BioRID
- 4 manichini bambino Hybrid III e 4-5 manichini bambino serie Q
- 4-5 Manichini zavorra non strumentati

I manichini rappresentano un bell'investimento!

I manichini numerici

Modelli Madymo dei manichini e l'evoluzione verso i modelli FEM



Negli anni 80' iniziò lo sviluppo dei modelli numerici «multibody» dei manichini fisici da utilizzare nello studio dei sistemi di ritenuta, principalmente cinture ed airbag. Il più diffuso di questi modelli è MADYMO (MAthematical DYnamic MOdels) sviluppato da TNO.

Negli anni 90' i costruttori usarono ampiamente i manichini MADYMO durante tutto lo sviluppo dei nuovi modelli di vetture.

Essendo «multibody», cioè costituiti prevalentemente da ellissoidi, questi modelli replicano in modo approssimato i corrispondenti manichini fisici, inclusa l'interazione con i sistemi di ritenuta e la vettura.

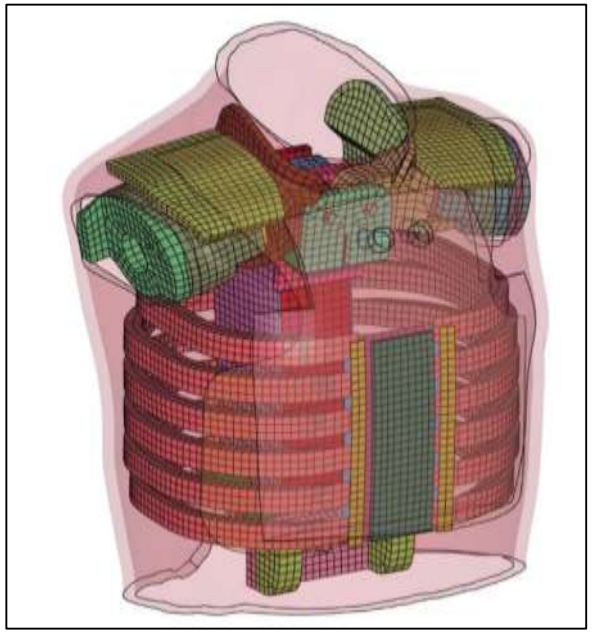
A partire dagli anni 2000' i principali costruttori sostituirono progressivamente i manichini MADYMO con i manichini FEM, molto più accurati nel riprodurre il comportamento dei manichini fisici in ogni tipo di crash test.

Con i manichini FEM si predicono i valori biomeccanici con buona accuratezza, mentre con MADYMO i risultati ottenuti valevano principalmente come confronto tra soluzioni tecniche diverse.

Oggi i manichini MADYMO sono solo utilizzati per studi preliminari di nuovi sistemi di ritenuta, quando non è disponibile una sufficiente potenza di calcolo o per applicazioni fuori dal campo automobilistico.

Modelli FEM dei manichini

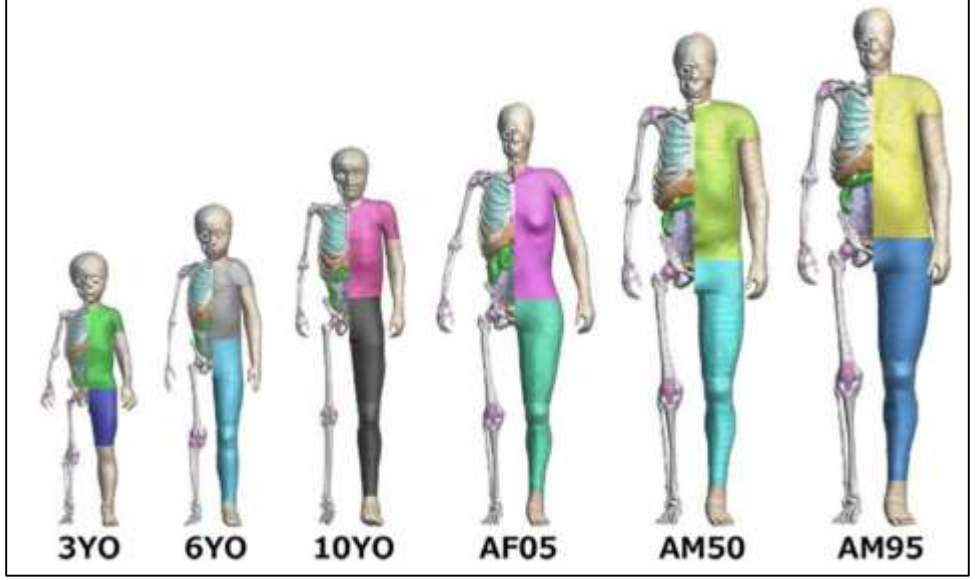
https://www.humaneticsgroup.com/products/virtual-models/frontal-impact-atd-virtual-models



- I manichini FEM (le repliche numeriche dei manichini fisici) sono comunemente usati nei calcoli crash.
- Per ogni manichino fisico esiste un corrispondente modello numerico.
- Tali modelli sono molto complessi (hanno un elevato numero di nodi ed elementi) e quindi allungano di molto il tempo di calcolo.
- Oggi sono indispensabili per lo sviluppo dei sistemi di ritenuta e in generale della sicurezza di ogni nuova vettura.

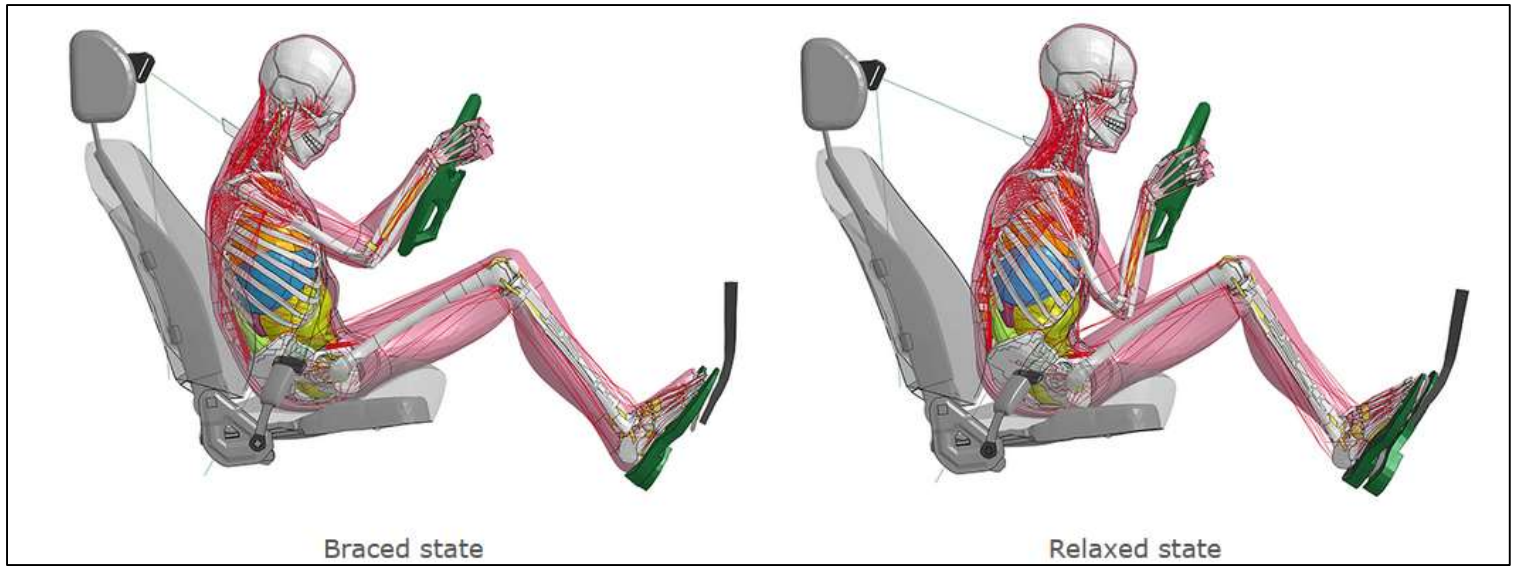
I modelli numerici del corpo umano

Modelli FEM del corpo umano



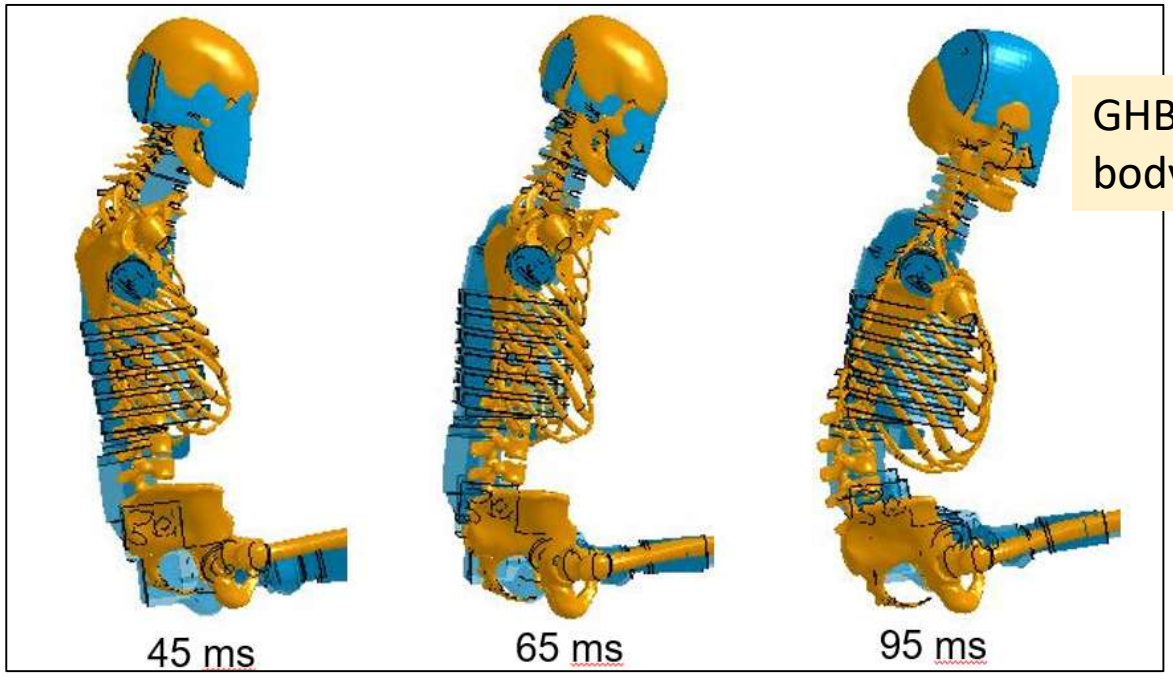
- Nel campo della simulazione numerica il vero cambio di paradigma sono i modelli matematici del corpo umano di persone di tutte le età e corporatura.
- Questi modelli descrivono in modo straordinariamente biofedele il corpo umano, e lo fanno in modo molto più accurato di quanto facciano i manichini usati in laboratorio. In tal modo è possibile valutare le lesioni a organi del corpo, come cuore, milza, polmoni, ecc., valutazioni impossibili sui tradizionali manichini.
- Con questi modelli, si possono studiare molto meglio le cinture di sicurezza, gli airbag, le strutture ad assorbimento di energia e come vengono protette le diverse corporature durante gli incidenti.
- Questi manichini virtuali sono oggi usati in attività di ricerca da aziende che possiedono le competenze e ovviamente la potenza di calcolo adeguata all'uso di questi sofisticati strumenti.
- Una applicazione recente è lo studio del "peggioramento della sicurezza" degli occupanti quando non sono correttamente seduti, ad esempio quando hanno lo schienale del sedile molto reclinato oppure quando il sedile non è orientato nella direzione di marcia, problemi che sorgono con i veicoli a guida autonoma.

Modelli FEM del corpo umano



THUMS (**Total HUman Model for Safety)** human body model sviluppato da Toyota

https://global.toyota/en/newsroom/corporate/32665896.html



GHBMC human body model

HBM showed more significant rib cage deformation resulted in larger anterior-posterior compression than Hybrid III.

Grazie per l’attenzione

Per chi vuol saperne di più sui manichini può consultare il volume:

https://www.amazon.de/-/en/Luigi-Piano-ebook/dp/B08FC9P68G/ref=sr_1_fkmr1_1?crid=3LSQBGGPWXAVT&keywords=luigi+piano+passive+safety+handbook+part+9&qid=1654623608&sprefix=luigi+piano+passive+safety+handbook+part+9%2Caps%2C89&sr=8-1-fkmr1&asin=B08FC9P68G&revisionId=&format=4&depth=1

Per le scuole: Come evitare che le uova si rompano nel trasporto

Come evitare che le uova si rompano nel trasporto

https://www.youtube.com/watch?v=mwaXQmjkau4

Come evitare che le persone muoiano nel trasporto in auto (in uno scontro)

L'invenzione dei sistemi di ritenuta (cinture, airbag, …)

Il concetto sviluppato da McNamara

Negli anni 50 McNamara era un giovane e brillante ingegnere di Ford. JF Kennedy lo volle ministro della difesa ai tempi della guerra del Viet-Nam.
Ma prima dell'incarico politico, McNamara sviluppo in Ford il "Lifeguard" package. Era una prima realizzazione di quello che divenne poi il «sistema di ritenuta». Ma i tempi non erano ancora maturi per questo concetto e Ford non sfondò con questo contenuto. Bisognò aspettare circa un decennio (fine anni 60) perché le prime norme sulla sicurezza venissero introdotte in USA e che gli ingegneri di GM e Chrysler capissero l'importanza di introdurre questo sistema.

https://classroom.iihs.org/wp-content/uploads/2019/03/Egg-Crash_Teacher.pdf

https://www.autonews.com/article/20160606/OEM02/160609934/the-bean-counter-who-could-have-changed-auto-history/