

学位論文（博士）

A radiographic and physical analysis of factors affecting  
seat belt position in sitting car seat.

（カーシート座位時のシートベルト位置に影響を  
及ぼす身体的・X線学的所見に関する検討）

氏名 山縣 大樹

所属 山口大学大学院医学系研究科

医学専攻 整形外科講座

令和4年10月

## 目 次

1. 要旨	1
2. 研究の背景	2
3. 目的	3
4. 方法	4
(1) 対象	4
(2) 方法	5
(3) 解析	6
5. 結果	7
6. 考察	8
7. 結語	9
8. 謝辞	10
9. 参考文献	11

## 【要旨】

自動車事故に際しシートベルトに沿って生じる帯状の皮下出血斑はシートベルト兆候 (seat belt sign : SBS) と呼ばれている。特に腹部 SBS が上前腸骨棘 (anterior superior iliac spine : ASIS) よりも上方に位置する場合、腹部臓器損傷の危険性が高い。本研究の目的は、腹部 SBS 位置に関連するシートベルト腹部部分 (ラップベルト) の位置に影響を与える因子について解析することである。

本研究は、健康な成人 100 名 (男性 50 名、女性 50 名) の身体所見と、カーシート座位時のラップベルト位置との関係を前向きに検討したものである。身体所見は、年齢、身長、Body Mass Index (BMI)、腹囲を測定した。それぞれ平均年齢 37.9 歳、平均身長 164.9cm、平均 BMI 23.9kg/m<sup>2</sup>、平均腹囲 83.4cm であった。

X 線学的所見は、腰椎前弯 (lumbar lordosis : LL)、仙骨傾斜 (sacral slope : SS) を測定し、ラップベルト位置は運転席側のラップベルトの中央と ASIS 相当の位置に鉛テープでマーキングすることで計測した。側面 X 線撮影を行い、ASIS から中央マーカまでの水平距離 (X 値)、垂直距離 (Z 値) を計測した。ラップベルト角度は、2つのマーカの上端を結ぶ直線と水平線とのなす角度を計測することで求めた。これらの身体所見と X 線学的所見との関係を統計学的に解析

した。X 値と Z 値は体重 (X 値  $r = 0.73$ 、Z 値  $r = 0.56$ )、BMI (X 値  $r = 0.77$ 、Z 値  $r = 0.56$ )、腹囲 (X 値  $r = 0.74$ 、Z 値  $r = 0.52$ ) と正の相関があり、ラップベルト角度は体重 ( $r = -0.33$ )、BMI ( $r = -0.35$ )、腹囲 ( $r = -0.37$ ) と負の相関があった。これらの結果からは、BMI の高い乗員ではラップベルトが ASIS より高い位置にあるため、シートベルト損傷を引き起こす可能性が高い。この解析は、より安全なシートベルトの開発に役立つと思われる。

#### 【研究の背景】

世界で最初の自動車は 1796 年にフランスで発明された蒸気機関の運搬車であると言われており、これは世界で初めて交通事故を起こした自動車でもある。現在主流であるガソリンエンジン機関の自動車が発明されたのは 19 世紀後半のドイツであったが、当初は富裕層の趣味に過ぎなかった。その後、技術進歩によって大量生産が可能となると一般市民に広く普及するようになった——すなわちモータリゼーションである。1900 年代初頭に米国で起きたモータリゼーションは交通事故の発生件数を飛躍的に増加させ社会問題となった。1922 年のメトロポリタン生命保険会社統計公報によると、米国 50 都市における自動車事故死亡者数は 1920 年に 3,637 人 (149.7 人/人口 100 万人)、1921 年に 3,837 人 (155.1 人

/人口 100 万人) と報告され<sup>1</sup>、死因としての交通事故が注目されるようになって  
いる。これを防ぐための方法のひとつとして考案されたのがシートベルトであ  
った。当初は腰部のみを固定する 2 点式シートベルトが主流であったが、1959  
年に初めて 3 点式シートベルトが大衆車に装備された。肩と両腰部を固定する 3  
点式シートベルトは脱着のしやすさと体幹固定力のバランスが良く、現在でも  
その基本構造が踏襲されている。その普及を後押ししたのは各国で制定された  
シートベルト法である。1961 年に米国ウィスコンシン州が世界に先駆けてシー  
トベルト法を制定すると、国としては 1964 年にオーストラリアが世界で初めて  
シートベルトの義務化を行った。オーストラリアは 1976 年に世界で初めてチャ  
イルドシートの義務化も行っている。日本でのシートベルト法は大きく二つに  
分けられており、1966 年に道路運送車両法によって設置義務が、1971 年に道路  
交通法によって着用義務が制定され、社会情勢や車両性能の変化に合わせてそ  
れぞれ厳格化が進んでいる。直近では 1994 年には後部席での 3 点式シートベル  
トの設置が、2008 年には後部席でのシートベルト着用が義務化されている。

シートベルトは乗員の死亡率を大幅に減少させることに役立っているが<sup>2,3</sup>、  
一方でシートベルトの普及に伴い交通事故時のシートベルトに起因する外傷が

相次いで報告されるようになった<sup>4,5</sup>。1962年にGarrettらはシートベルト損傷を初めて報告し、これを「シートベルト症候群」と呼称した<sup>6</sup>。その際シートベルトの形状に一致して胸部や腹部に生じる特徴的な皮下出血斑をDoerschらはシートベルト兆候(seat belt sign : SBS)と名付けた<sup>7</sup>。Jiangらは、特に腹部のSBSが骨盤の上前腸骨棘(anterior superior iliac spine : ASIS)より上方に位置していた場合、シートベルト損傷のリスクが高いと報告した<sup>8</sup>。シートベルト腹部部分(2点式シートベルト装置におけるベルトに相当する部分)はラップベルトと呼ばれており、腹部SBSはこれに沿って生じると考えられる。このラップベルトがなぜ腸骨にかからずASISより上方で腹部臓器損傷を引き起こすことになるのか、そのメカニズムはまだ解明されていない。

## 【目的】

臨床における腹部SBS位置、つまり受傷時の最終的なラップベルト位置について、静的因子と動的因子に分けて考える必要がある。すなわち静的因子とは運転中のラップベルトの初期位置、動的因子とは衝突事故の際にラップベルトのずれ上がりであり、臨床的なSBS位置は両者の和であると考えられる。我々は同じシートベルトでも年齢、性別、体型、脊椎骨盤アライメントの個人差により

ラップベルト位置が変化し、それが SBS の位置に影響を与える可能性があるとして仮説を立てた。本研究の目的は、身体所見や X 線学的所見の個人差がラップベルト初期位置に与える影響について検討することである。

## 【方法】

本研究は、マツダ株式会社（広島県安芸郡）との共同研究であり、使用したカーシートを提供した研究パートナーの利益となる情報を提供するものではない。そして、この原稿に記載された個人（例えば図 1b）からは、これらの詳細を掲載することについて書面によるインフォームド・コンセントを得ている。本研究は著者の所属する山口大学医学部附属病院臨床研究センター（宇部市、承認番号 H2019-013）の倫理委員会の承認を得ており、すべての方法は関連するガイドラインや規則に従って実施されている。

### （1）対象

対象は、脊椎疾患や下肢疾患の既往歴や手術歴のない健康なボランティア 100 名（男性 50 名、女性 50 名）である（表 1、図 1）。平均年齢は 37.9 歳（20～64 歳）、平均身長は 164.9cm（150～187cm）、平均体重は 65.3kg（42～105kg）、平均 Body Mass Index（BMI）<sup>9</sup> は 23.9kg/m<sup>2</sup>（16.7～39.8kg/m<sup>2</sup>）、平均腹囲（waist

circumference : WC) は 83.4cm (56~119cm) であった。WC は日本肥満学会で定義され、日本におけるメタボリックシンドロームの標準的な診断方法である臍の高さで測定した<sup>10</sup>。

変数	男性	女性	<i>p</i> 値
人数	50	50	
年齢 (歳)	35.8 (20-64)	40.0 (21-63)	0.08
身長 (cm)	171.3 (160-187)	158.4 (150-172)	< 0.01
体重 (kg)	71.6 (45-105)	59.0 (42-105)	< 0.01
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	24.4 (16.7-39.8)	23.4 (17.3-35.8)	0.31
WC (cm)	87.0 (75-119)	79.8 (56-103)	< 0.01

Mann-Whitney *U* test

表 1 : 被験者の特徴を示す。

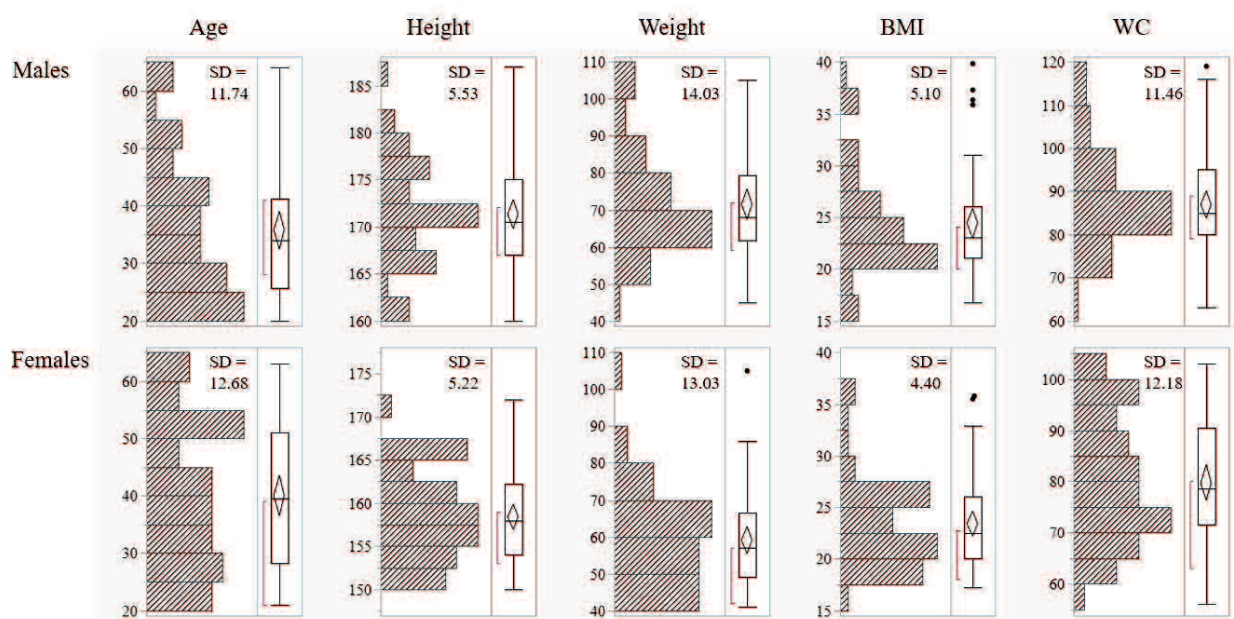


図 1 : 年齢、身長、体重、BMI、WC のヒストグラムと標準偏差 (SD) を示す。



## (2) 方法

マツダ 3 車両の運転席に搭載されるドライビングシートを用いて、X 線撮影範囲に収まるように設計された撮影台を作成した。背面 24 度、座面 21.5 度のリクライニングで固定し、実際の車両と同じ位置にステアリングホイールを模したハンドルとフットペダルを模したスタンドを配置した。ハンドルの前後位置は、被験者が最も自然だと感じる位置に調整可能とした。ラップベルトの正中の位置と左 ASIS 相当の位置が単純 X 線画像で判別できるように 3M™ 鉛箔テープ 420 によるマーキングを行った (図 2)。

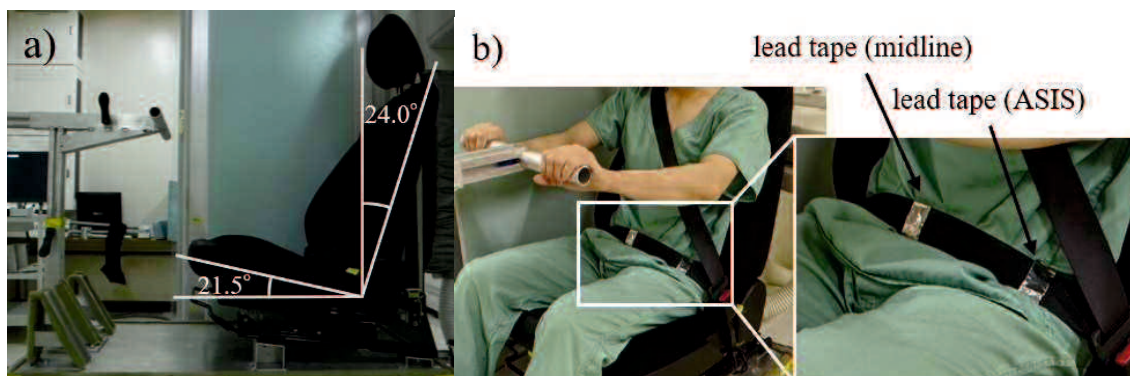


図 2：マツダ 3 のドライビングシートを用いた X 線撮影台。

a) シート背面は 24 度、座面は 21.5 度で固定した。ステアリングを模したハンドルとペダルは実車と同じ位置に配置した。

b) ラップベルトの正中線と左 ASIS 相当位置は、3MTM 鉛箔テープ 420 (25.4mm x 32.9mm) を各位置に巻き付け、X 線写真で確認できるようにした。いずれの場合も筆頭著者が腹部中央と左 ASIS を触診して確認し、マーキングの位置決めを行った。

続いて、X 線撮影台に座った被験者の腰椎から骨盤の座位側面単純 X 線撮影を行った。X 線被曝を最小限に抑えるため、シートリクライニング角度は一定に固定し、1 回だけ撮影した。撮影された単純 X 線画像を用いて、ASIS と正中マーカとの位置関係、ラップベルト角度、腰椎骨盤アライメントを測定した。ASIS と正中マーカとの位置関係は、ASIS から下ろした垂線と正中マーカ上縁との水平距離を X 値、ASIS から引いた水平線と正中マーカ上縁との垂直距離を Z 値として測定した。ラップベルト角度は、マーカの上縁どうしを結んだ直線と水平線とのなす角を測定した。腰椎骨盤アライメントとして、第 1 腰椎頭側終板と第 1 仙椎頭側終板のなす角である腰椎前弯 (lumbar lordosis : LL)、第 1 仙椎頭側終板と水平線のなす角である仙骨傾斜 (sacral slope : SS) を測定した (図 3) <sup>11-13</sup>。

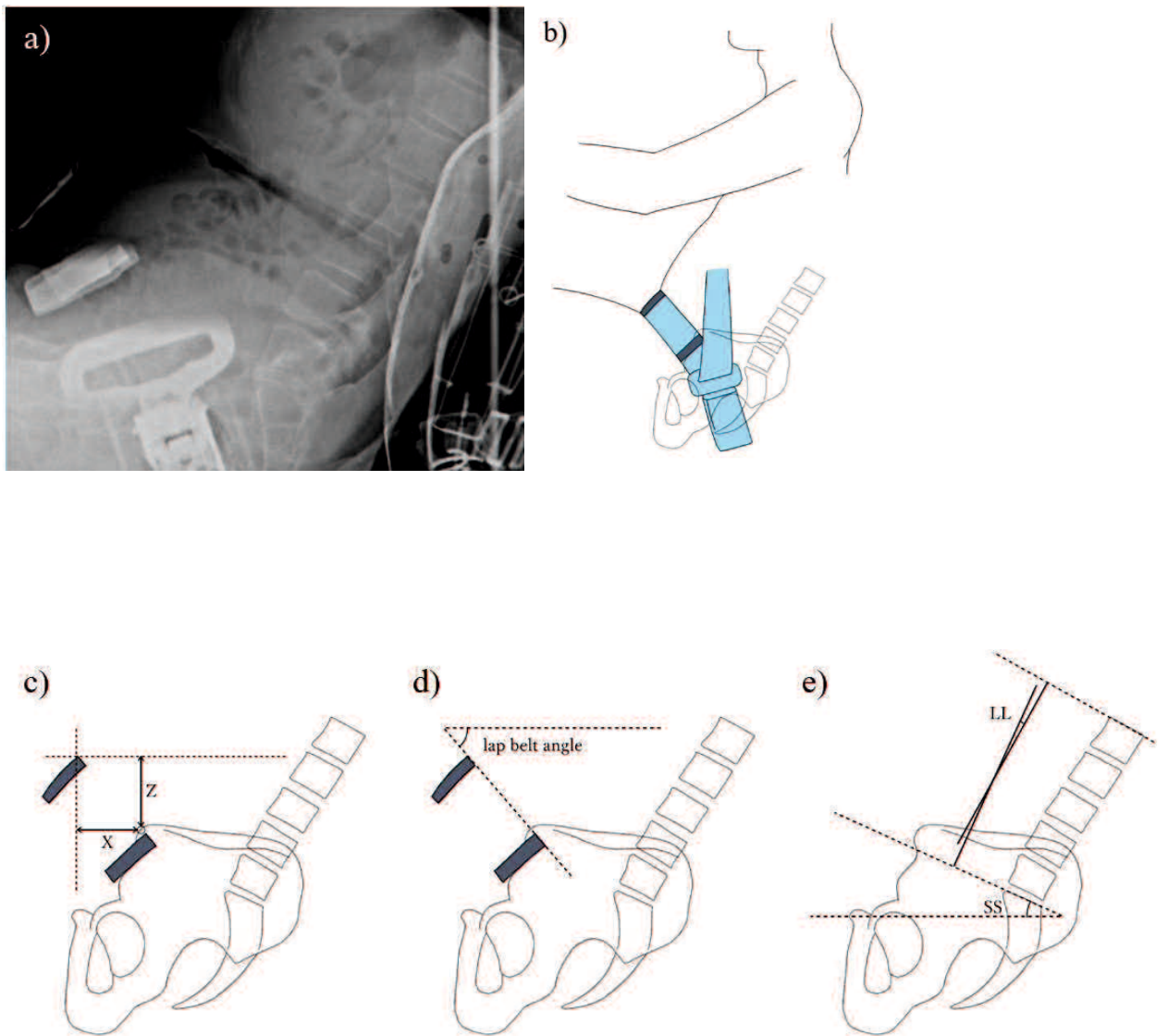


図3：座位腰椎骨盤側面 X 線写真 (a) とイラスト (b)。ASIS から下ろした垂線と正中マーカー上縁との水平距離を X 値、ASIS から引いた水平線と正中マーカー上縁との垂直距離を Z 値として測定した (c)。ラップベルト角度は、マーカーの上縁どうしを結んだ直線と水平線とのなす角を測定した (d)。腰椎骨盤アライメントとして、第 1 腰椎頭側終板と第 1 仙椎頭側終板のなす角を測定した (e)。腰椎前弯 (lumbar lordosis : LL)、第 1 仙椎頭側終板と水平線のなす角である仙骨傾斜 (sacral slope : SS) を測定した (e)。

### (3) 解析

固有の体型に関する変数とラップベルトに関する変数との関係について解析を行った。目的変数はラップベルトの初期位置を示す X 値、Z 値、ラップベルト角度とし、説明変数は年齢、身長、体重、BMI、WC、LL、SS とした (図 4)。

Spearman の順位相関係数を用いて相関を解析した。重回帰分析にはステップワイズ法を用いた。解析は StatFlex ver. 6 (株式会社アーテック、大阪府大阪市) を使用し、 $p < 0.05$  を有意差ありとした。

	Explanatory variable = body shape and alignment	Objective variable = initial lap belt position
General findings	Age	
Physical findings	Height Weight Body mass index (BMI) Waist circumference (WC)	
Image findings	Lumbar lordosis (LL) Sacral slope (SS)	Lap belt X-value Lap belt Z-value Lap belt angle

図4：説明変数と目的変数。説明変数は年齢、身長、体重、BMI、WC、LL、SSとした。目的変数はラップベルト初期位置を示すX値、Z値、ラップベルト角度とした。

### 【結果】

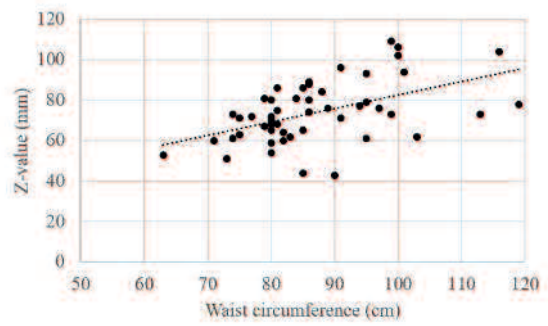
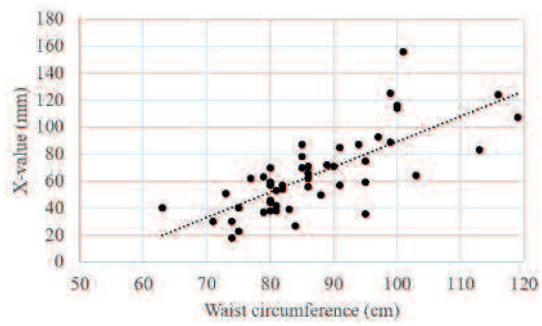
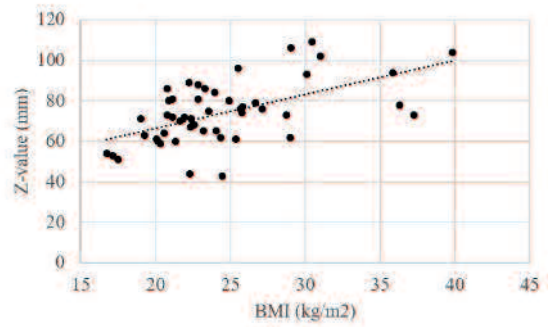
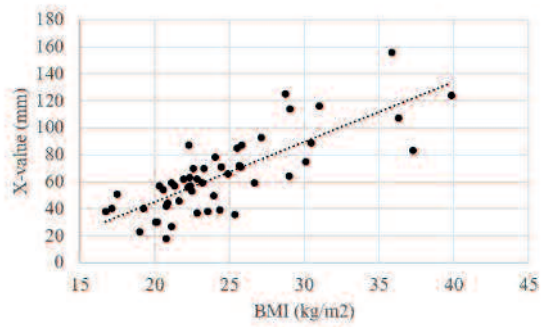
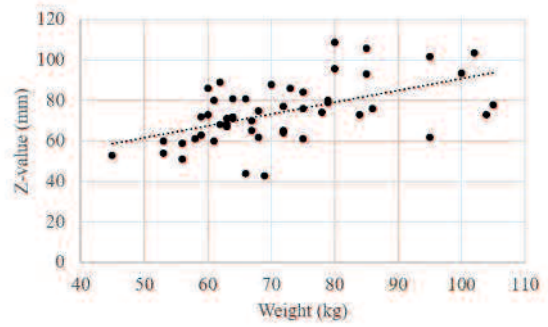
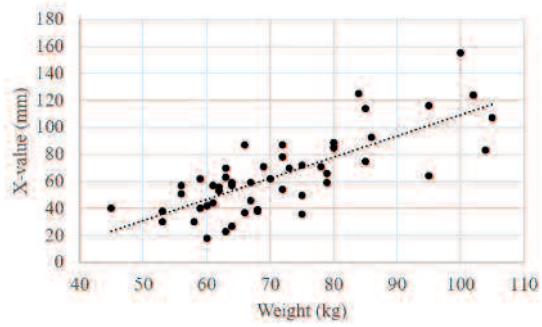
身長 (171.3cm 対 158.4cm)、体重 (71.6kg 対 59.0kg) において男女間に有意差を認めた。体型の性差を考慮し、男女別での解析を行った。男性では、X値は年齢 ( $r=0.39$ )、体重 ( $r=0.73$ )、BMI ( $r=0.77$ )、WC ( $r=0.74$ ) と正の相関を認めた。Z値は、体重 ( $r=0.56$ )、BMI ( $r=0.56$ )、WC ( $r=0.52$ ) と正の相関を認めた。ラップベルト角度は、体重 ( $r=-0.33$ )、BMI ( $r=-0.35$ )、WC ( $r=-0.37$ ) と負の相関を認めた。身長、LL、SSはX値、Z値、ラップベルト角度と相関しなかった。女性では、X値は年齢 ( $r=0.30$ )、身長 ( $r=0.40$ )、体重 ( $r=0.77$ )、BMI ( $r=0.75$ )、WC ( $r=0.74$ ) と正の相関を認めた。Z値は、身長 ( $r=0.31$ )、体重 ( $r=0.67$ )、BMI ( $r=0.64$ )、WC ( $r=0.69$ ) と正の相関を認めた。ラップベルト角度はどの説明変数とも相関を認めなかった。LL、SSはX値、Z値、ラップベルト角度と相関しなかった (表2)。男女ともに体重、BMI、WCがX値、Z値と強い相関を認めた (図5)。男女それぞれについて重回帰分析を行った。ステップワイズ法による重回帰分析の結果、男女ともにBMIがX値、Z値と最も

強く相関する因子であった。男性において BMI は、ラップベルト角度とも最も強く相関していた (表 3)。

男性 ( $n = 50$ ) 変数	$r$			$p$		
	X 値	Z 値	角度	X 値	Z 値	角度
年齢	0.391	-0.012	-0.210	0.0050	0.9358	0.1443
身長	-0.096	-0.001	0.242	0.5090	0.9932	0.0903
体重	<b>0.729</b>	<b>0.562</b>	-0.330	< 0.0001	< 0.0001	0.0191
BMI	<b>0.773</b>	<b>0.555</b>	-0.351	< 0.0001	< 0.0001	0.0122
WC	<b>0.741</b>	<b>0.522</b>	-0.373	< 0.0001	0.0001	0.0076
LL	0.003	-0.202	-0.162	0.9848	0.1587	0.2623
SS	0.070	-0.147	-0.039	0.6296	0.3093	0.7888
女性 ( $n = 50$ ) 変数	$r$			$p$		
	X 値	Z 値	角度	X 値	Z 値	角度
年齢	0.302	0.132	-0.119	0.0331	0.3601	0.4122
身長	0.405	0.311	-0.183	0.0035	0.0280	0.2036
体重	<b>0.765</b>	<b>0.669</b>	-0.215	< 0.0001	< 0.0001	0.1335
BMI	<b>0.748</b>	<b>0.640</b>	-0.218	< 0.0001	< 0.0001	0.1409
WC	<b>0.788</b>	<b>0.686</b>	-0.164	< 0.0001	< 0.0001	0.2565
LL	-0.017	-0.021	-0.028	0.9057	0.8871	0.8449
SS	-0.027	0.003	-0.032	0.8524	0.9865	0.8276

表 2: 各説明変数と X 値、Z 値、ラップベルト角度との相関。相関係数 ( $r$ ) と  $p$  値を示す。

## Males



## Females

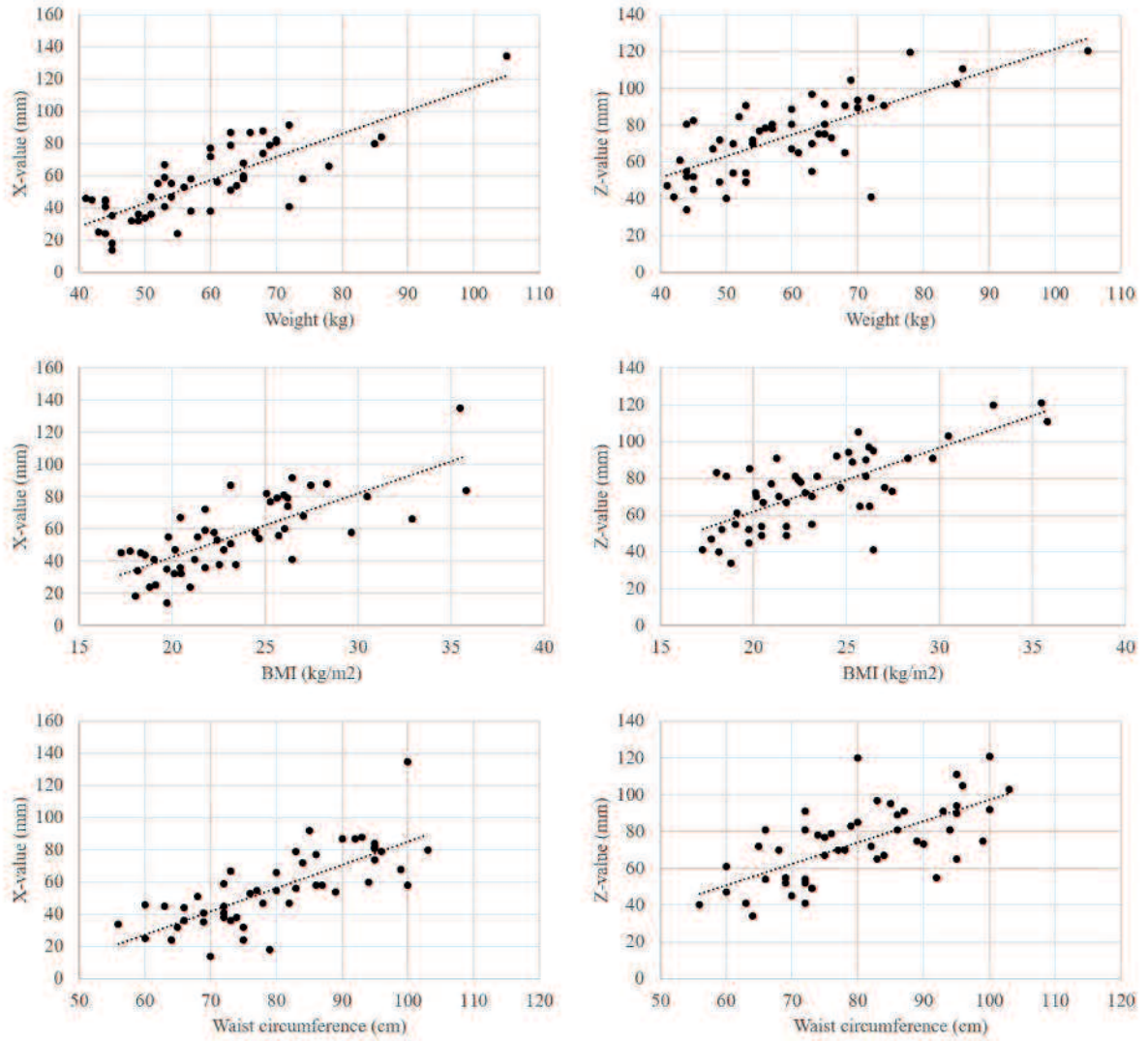


図5：体重、BMI、WCとX値、Z値との関係を示す。



目的変数：X 値、男性 ( $n = 50$ )

次数	変数	$\beta$	$SE(\beta)$	std $\beta$	$t$	$p$
0		-32.45	13.30			
1	<b>BMI</b>	<b>4.530</b>	<b>0.4912</b>	<b>0.7987</b>	<b>9.222</b>	<b>&lt; 0.0001</b>
2	LL	-0.7501	0.4089	-0.2467	-1.834	0.0731
3	SS	1.210	0.5144	0.3153	2.353	0.0230

重相関係数  $R = 0.812$

決定係数  $R^2 = 0.659$

adjusted  $R^2 = 0.637$

RMSE = 17.4

目的変数：Z 値、男性 ( $n = 50$ )

次数	変数	$\beta$	$SE(\beta)$	std $\beta$	$t$	$p$
0		31.17	8.756			
1	<b>BMI</b>	<b>1.727</b>	<b>0.3494</b>	<b>0.5810</b>	<b>4.943</b>	<b>&lt; 0.0001</b>
2	LL	-0.3126	0.1874	-0.1961	-1.668	0.1019

重相関係数  $R = 0.597$

決定係数  $R^2 = 0.356$

adjusted  $R^2 = 0.328$

RMSE = 12.4

目的係数：ラップベルト角度、男性 ( $n = 50$ )

次数	変数	$\beta$	$SE(\beta)$	std $\beta$	$t$	$p$
0		91.21	8.678			
1	<b>BMI</b>	<b>-1.602</b>	<b>0.3464</b>	<b>-0.5473</b>	<b>-4.625</b>	<b>&lt; 0.0001</b>
2	LL	-0.2747	0.1857	-0.1750	-1.479	0.1458

重相関係数  $R = 0.589$

決定係数  $R^2 = 0.347$

adjusted  $R^2 = 0.319$

RMSE = 12.3

目的変数：X 値、女性 ( $n = 50$ )

次数	変数	$\beta$	$SE(\beta)$	std $\beta$	$t$	$p$
0		-59.83	12.36			
1	age	0.5587	0.1561	0.3033	3.579	0.0008
2	<b>BMI</b>	<b>3.984</b>	<b>0.4465</b>	<b>0.7510</b>	<b>8.922</b>	<b>&lt; 0.0001</b>
3	LL	0.2903	0.2159	0.1139	1.344	0.1854

重相関係数  $R = 0.821$

決定係数  $R^2 = 0.674$

adjusted  $R^2 = 0.653$

RMSE = 13.8

目的変数：Z 値、女性 ( $n = 50$ )

次数	変数	$\beta$	$SE(\beta)$	std $\beta$	$t$	$p$
0		-16.41	12.98			
1	age	0.2137	0.1630	0.1287	1.311	0.1964
2	<b>BMI</b>	<b>3.487</b>	<b>0.4695</b>	<b>0.7292</b>	<b>7.427</b>	<b>&lt; 0.0001</b>

重相関係数  $R = 0.740$

決定係数  $R^2 = 0.547$

adjusted  $R^2 = 0.528$

RMSE = 14.5

目的変数：ラップベルト角度、女性 ( $n = 50$ )

degree	variable	$\beta$	$SE(\beta)$	std $\beta$	$t$	$p$
0		88.72	11.97			
1	age	-0.2441	0.1503	-0.2232	-1.624	0.1110
2	BMI	-0.7937	0.4327	-0.2521	-1.834	0.0730

重相関係数  $R = 0.335$

決定係数  $R^2 = 0.113$

adjusted  $R^2 = 0.075$

RMSE = 13.3

表 3：ステップワイズ法による重回帰分析を示す ( $\beta$ ：偏回帰係数、 $SE(\beta)$ ： $\beta$  の標準誤差、 $std\beta$ ：標準化偏回帰係数)。

### 【考察】

以上のような結果から、考察を述べる。

シートベルト損傷は、腹部 SBS がより上方に位置する症例でリスクが高いと報告されている<sup>8</sup>。我々は、体型の違いが腹部 SBS の位置に影響を与える可能性があるとして仮説をたて、カーシート座位時のラップベルト初期位置との関係について検討した。

現在世界的に普及している 3 点式シートベルトの原型は 1959 年に初めて市販車に搭載され、その基本構造は 60 年以上変わっていない。多くの国のシートベルト法で標準装備として規定されており、交通事故に関連する主要なリスクのほとんどはシートベルト使用者の方が低い<sup>14</sup>。一方で、シートベルトの普及に伴い、ベルトに起因する新たな損傷についての報告も散見されるようになった。シートベルトに関連する様々な臓器損傷について最初に言及したのは Garrett らであり、彼らは最低でも一人以上の乗員がシートベルトを装着していた 2778 件の自動車事故を対象に調査を行い、シートベルトを装着していた 3325 名の乗員の

うち 944 名が事故に起因する外傷を生じ、そのうち 150 名が腹部から骨盤を損傷していることを、「シートベルト症候群」と題した論文で報告している<sup>6</sup>。ベルトに起因する胸腰椎の屈曲牽引骨折は Chance 骨折と呼ばれ、ラップベルトを支点とした強い屈曲力によって交通外傷に高率に合併することで有名で、現在では「シートベルト骨折」とも呼ばれ、手術が必要な症例もある<sup>15,16</sup>。さらに、シートベルト症候群の患者を治療する際には、腹腔内臓器では腸管・腸間膜損傷<sup>4</sup>、後腹膜臓器では動脈損傷<sup>5</sup>などの臓器損傷合併に注意しなければならない。シートベルト症候群を疑う兆候として、Doersch らはシートベルトの走行に沿った皮下出血斑の存在を指摘し、これを「シートベルト兆候 (seat belt sign : SBS)」と呼んだ<sup>7</sup>。SBS はベルト部位に一致した皮下出血斑を指し、腹腔内臓器損傷と関連しているが<sup>17</sup>、一方で SBS が存在していても関連損傷のない場合が多くあり必ずしも損傷のリスクにはならないとする報告も散見され<sup>18</sup>、SBS の有無だけでシートベルト損傷のリスクは評価できない。Johnson らは、外傷センターで診療された自動車事故患者の CT 画像を用いて SBS 位置を特定し、SBS が ASIS より上方にある場合は腹腔内臓器損傷と腹部手術のリスクが高く、SBS が ASIS より下方にある場合は骨盤骨折のリスクが高くなり、腹部手術の必要性や予測因

子になると報告している<sup>19</sup>。同じエネルギーがかかると仮定すると、骨盤よりも腹部臓器の方が損傷しやすいと考えられるため、SBSがASISより上方に存在することがシートベルト症候群のリスクであると言える。しかし、本来ASISにかかっているはずのシートベルトによる出血斑がなぜASISよりも上方に生じることになるのか、そのメカニズムは未だ不明であり、従って予防策も確立されていない。

我々は衝突時のラップベルト位置を、静的要因である「初期位置」と動的要因である「ずれ上がり」に分け、その両者の合算により求めることができると仮定した。動的要因のずれ上がりにはサブマリン現象と呼ばれる、lap beltの下に身体が潜り込む現象が関与していると考えられる<sup>20</sup>。ずれ上がりの量はダミー人形を用いた衝突実験や有限要素法を用いたコンピューターシミュレーションによって解析することが可能であるが、衝突実験には莫大なコストが必要であり、また有限要素法での解析を行うためには座位での姿勢情報が必要である。立位から座位に姿勢が変化した場合、腰椎骨盤アライメントが変化するだけでなく<sup>21</sup>、頸椎アライメントにも影響し<sup>22</sup>、またその変化にも個人差が存在する<sup>23</sup>と報告されている。Bucklandらは高BMI者の座位時の脊椎骨盤アライメント変化の

特徴として、股関節周囲軟部組織のインピンジメントによる股関節屈曲角度の減少と、それに伴い腰椎後弯、骨盤後傾が強くなる傾向について報告している<sup>24</sup>。

Nishidaらはカーシート着座時の座位脊椎アライメント変化について検討し、同じカーシートであっても高齢者においてLL変化量が小さいことや高身長者で胸腰椎移行部後弯角変化量が大きいことなど、年齢や体型によって差があることを報告した<sup>25</sup>。同様にラップベルト初期位置も体型によって差がある可能性があり、シミュレーションを行うためにはまず正しい初期位置のデータが必要である。本研究ではラップベルト初期位置に影響を与える身体的因子を明らかにした。このデータを基にシミュレーションを行うことで、衝突時のずれ上がりを考慮した臨床的なSBS位置の検討ができる可能性がある。本研究において、説明変数である各身体的因子がどのようにラップベルト位置に影響を及ぼしたか、順に考察する。

第一にBMIについて、BMIが高いほど乗員の損傷や死亡のリスクが高いことが報告されている<sup>26-28</sup>。Zarzaaurらは、これがシートベルトの不適切な使用によるものであると考え、シートベルトと肥満が腹腔内臓器損傷の有無に及ぼす影響を米国National Automotive Sampling Systemのデータベースを使用して調査し

た<sup>29</sup>。彼らは、腹腔内臓器損傷と死亡率は肥満者のシートベルト着用と関連しなかったが、AIS 1 以上の腹部損傷のリスクは肥満者のシートベルト着用と関連したと結論している。死亡率に関しては、Elkbuli らも外傷センターのレジストリを用いて BMI とシートベルト装着の有無が死亡率に及ぼす影響について研究を行い、シートベルト着用が BMI に関係なく死亡率を下げると報告しており<sup>30</sup>、肥満の乗員でもシートベルト着用が望ましいことは間違いない。従って高 BMI によってシートベルト関連損傷が生じるメカニズムを解明し、これを予防する方策を検討する必要がある。

Hartka らは実際の交通事故患者における SBS の位置を CT 上で測定し、肥満者では X 値が大きくなるが、Z 値はあまり変わらなかったと報告している<sup>31</sup>。他方、実験室レベルでは、Reed らがラップベルト位置を測定し、BMI が  $10\text{kg}/\text{cm}^2$  増加すると、43mm 前方、21mm 上方になることを報告している<sup>32</sup>。また、骨盤からの距離も増加するため、ベルトが適切に骨盤にかからない可能性が高くなると述べている。

本研究では、体重、BMI、WC が X 値、Z 値、ラップベルト角度に影響を与えていた。これらの変数は、いずれも肥満と関連する因子である。BMI が X 値、

Z 値と最も強く相関し、BMI が高いほど X 値、Z 値が高くなることが明らかになった。また男性においてはラップベルト角度と最も強く相関するのも BMI であり、BMI が高いほどラップベルト角度が小さくなることがわかった。ラップベルト角度が小さいと、その下に骨盤が潜り込みやすくなり、衝突時のラップベルトずれ上がりが相対的に大きくなる可能性がある。要するに、肥満者はラップベルト初期位置の Z 値が高値であり、ラップベルトずれ上がりも大きくなる可能性があるため SBS 位置が上方になりやすく、シートベルト損傷のリスクが高くなると考えられる (図 6)。

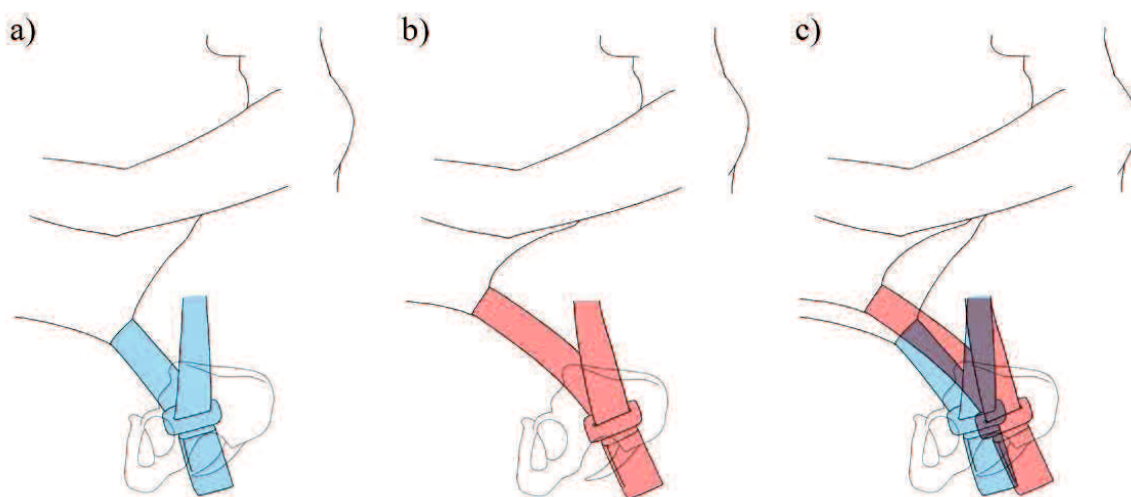


図 6：BMI の低い乗員の骨盤とシートベルトの位置関係 (a) と BMI の高い乗員の骨盤とシートベルトの位置関係 (b) を示す。比較すると、BMI の高い乗員の方が X 値、Z 値が大き



く、ラップベルト角度が小さくなっている (c)。そのため、骨盤がラップベルトの下に入り込むサブマリン現象が起りやすくなっている可能性がある。

Hartka らと我々の結果が異なる理由は、X 値と Z 値を測定する際の姿勢の違いにあると考えられる。CT を用いた彼らの研究では仰臥位で測定されたはずであるが、本研究では座位での座標系を使用した。座標系が異なるためそれぞれの X 値、Z 値を単純に比較することはできず、受傷時の姿勢は座位であることから、座標系は座位で定めることが適切であると考ええる。また、座位での全脊椎アライメントは仰臥位と大きく異なることが知られており、特に骨盤の後傾が大きくなる<sup>21-23</sup>。これも仰臥位で撮影した CT から算出した X 値、Z 値と違いが生じる原因になり得る。

第二に身長について、身長はほとんどの場合ラップベルトの初期位置に影響を与えなかった。身長と相関があったのは、女性における X 値、Z 値のみであった。身長と SBS について言及した報告はなく、また座位での脊椎骨盤アライメントに関連するという報告もない。前述の体重や BMI の結果と比較すると、関連性は非常に低いので、相対的に身長は無視できると考える。ただし、本研究では女性の方が男性より平均約 12cm 低身長であり、女性に限って影響が出た理

由として、一定以下の身長域に限りラップベルト初期位置と相関する可能性を考える。

第三に腰椎骨盤アライメントについて、LL や SS は X 値、Z 値、ラップベルト角度と相関を認めなかった。これまでに脊椎骨盤アライメントと SBS との関係について報告した論文はない。Buckland らは肥満者で骨盤が後傾する傾向があると報告している<sup>24</sup>。Nishida らは、カーシート座位時の全脊柱アライメント変化を調査し、同じシートでも体型によって違いがあることを報告している<sup>25</sup>。体型の違いは座位での腰椎骨盤アライメントに影響を与える可能性があるが、そのアライメントの違いはラップベルト初期位置の違いには関与していないと考えられる。しかし、腰椎骨盤アライメントは座位姿勢と関係があり、不適切な姿勢で座るとシートベルト損傷につながる可能性がある。Richardson らは、50 度リクライニングしたカーシートに遺体を乗せて衝突実験を行い、いくつかの損傷パターンを報告した<sup>33</sup>。シートベルト損傷を含めた交通外傷と座位姿勢との関係については、さらなる研究が必要である。

なお、本研究の限界として下記を言及する。

第一の限界として、X線撮影姿勢が着座後すぐの姿勢であることが挙げられる。座位時の姿勢は筋疲労やリラックスの違いにより常に変化し続けている可能性がある。そのため、どの一時点で撮影を行ってもそれが恒久的なアライメントであるとは呼べないので、本研究では着座後すぐの姿勢で撮影を行った。

第二に、X線撮影はあらかじめ決められた単一のシート角度で行った。本研究結果は、シートの角度や高さ、ハンドルの高さにより変化する可能性がある。至適と感じるシートポジションは個人差があるため、シート位置なども被験者が選択できた方が、より現実世界の結果に近づけるものと考えられる。しかし複雑な器具はX線撮影の妨げとなるため、本研究ではシートポジションを単一のものと規定した。また被爆を最小限にするために、撮影は一度だけ行った。

第三に、本研究では150~187cmの被験者が参加したが、それを下回る身長の子供被験者（例えば小児など）を含めれば、異なる結果が出ていた可能性がある。つまり、150cm以下の被験者では、X値やZ値が相対的に増加し、シートベルト損傷リスクが高まる可能性がある。例えば、小児のシートベルト関連損傷は過去に度々問題となっており<sup>34-37</sup>、チャイルドシートが開発され装着が義務化された背景がある。そのため低身長の子供に対して通常の3点式シートベルトが装着

されることは現実にはなく、また小児は X 線の感受性が高いことから、今回は小児を被験者とはしなかった。また、150cm 以下の成人については、人口に対する頻度の少なさから、今回は考慮に入れなかった。

#### 【結語】

X 線撮影可能なカーシートを用いて健常ボランティアの座位側面 X 線像を撮影し、ラップベルト初期位置を測定した。BMI が高いほど X 値、Z 値が高く、男性では BMI が高いほどラップベルト角度が小さかった。従って、肥満者では SBS の位置が上方化し、シートベルト症候群のリスクが高まる可能性がある。この研究は、より安全なシートベルトの開発、自動車乗員への啓発に役立つと考えられる。

#### 【資金提供】

マツダ株式会社から、本共同研究の 2019 年研究費として、11,000 ドルの提供を受けた。ただし資金提供者は研究材料（カーシート、英文校正料、ボランティアへの謝礼）の支援を行ったが、研究デザイン、データ収集・分析、出版決定、原稿作成において追加の関与はしていない。

## 【謝辞】

本研究を進めるにあたり、山口大学大学院医学系研究科整形外科学の西田周泰助教、坂井孝司教授には終始適切なお指導、ご鞭撻をいただきました。ここに心より感謝の意を表します。並びに、本研究活動にあたり山口大学医学部附属病院の放射線技師の方々におきましては X 線撮影台の作成や被験者の撮影に多大な貢献をいただきましたことを厚く御礼申し上げます。加えて参加していただいたボランティア被験者の方々にも感謝いたします。また、山口大学大学院医学系研究科の市原清志教授には統計学について多くのご助言をいただきましたことを、マツダ株式会社の上野正樹氏には共同研究を提案していただきましたことを深謝いたします。

令和4年10月

山縣 大樹

## 【参考文献】

1. Automobile Accident Record of 1922, Stat. Bull. Metropolitan Life Insurance Co., 9:5-8, Sep. 1922.

2. Evans, L. The effectiveness of safety belts in preventing fatalities. *Accid. Anal. Prev.* **18**, 229–241 (1986).
3. Robertson, L. S. Reducing death on the road: The effects of minimum safety standards, publicized crash tests, seat belts, and alcohol. *Am. J. Public Health* **86**, 31–34. doi:10.2105/AJPH.86.1.31 (1996).
4. Blumenberg, R. M. The seat belt syndrome: sigmoid colon perforation. *Ann. Surg.* **165**, 637–639 (1967).
5. Clyne, C. A. C. & Ashbrooke, E. A. Seat - belt aorta: Isolated abdominal aortic injury following blunt trauma. *Br. J. Surg.* **72**, 239–239 (1985).
6. Garrett, J. W. & Braunstein, P. W. THE SEAT BELT SYNDROME. *J. Trauma Inj. Infect. Crit. Care* **2**, 220–238 (1962).
7. Doersch, K. B. & Dozier, W. E. The seat belt syndrome. The seat belt sign, intestinal and mesenteric injuries. *Am. J. Surg.* **116**, 831–3 (1968).
8. Jiang, O., Asha, S. E., Keady, J. & Curtis, K. Position of the abdominal seat belt sign and its predictive utility for abdominal trauma. *EMA - Emerg. Med. Australas.* **31**, 112–116 (2019).
9. Keys, A., Fidanza, F., Karvonen, M. J., Kimura, N. & Taylor, H. L. Indices of relative weight and obesity. *J. Chronic Dis.* **25**, 329–43 (1972).
10. Matsuzawa Y, Nakamura T, Takahashi M, et al. New Criteria for 'Obesity Disease' in Japan. *Circ. J.* **66**, 987–992 (2002).
11. Schwab, F. *et al.* Scoliosis Research Society—Schwab Adult Spinal Deformity Classification. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. **37**, 1077–1082 (2012).
12. Schwab, F. J. *et al.* Radiographical Spinopelvic Parameters and Disability in the Setting of Adult Spinal Deformity. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. **38**, E803–E812 (2013).

13. Jackson, R. P., Peterson, M. D., McManus, A. C. & Hales, C. Compensatory spinopelvic balance over the hip axis and better reliability in measuring lordosis to the pelvic radius on standing lateral radiographs of adult volunteers and patients. *Spine* vol. 23 1750–1767 (1998).
14. Fouda Mbarga, N., Abubakari, A. R., Aminde, L. N. & Morgan, A. R. Seatbelt use and risk of major injuries sustained by vehicle occupants during motor-vehicle crashes: A systematic review and meta-analysis of cohort studies. *BMC Public Health* **18**, 1–11 (2018).
15. Chance, G. Q. Note on a type of flexion fracture of the spine. *Br. J. Radiol.* **21**, 452 (1948).
16. Kepler, C. K. & Vaccaro, A. R. Thoracolumbar spine fractures and dislocations. in *Rockwood and Green's Fractures in adults* (eds. Court-Brown, C. M. et al.). 1757–1793 (Wolters Kluwer, 2014).
17. Chandler, C. F., Lane, J. S. & Waxman, K. S. Seatbelt sign following blunt trauma is associated with increased incidence of abdominal injury. *American Surgeon* vol. 63 885–888 (1997).
18. Makrin, V., Wiesel, O., Heller, D., Klausner, J. M. & Soffer, D. Low probability of Significant Intra-Abdominal Injury in Stable Patients with Abdominal “Seat Belt Sign”. *Eur. J. Trauma Emerg. Surg.* **35**, 403–406 (2009).
19. Johnson, M. C. & Eastridge, B. J. Discussion of: “Redefining the abdominal seatbelt sign: Enhanced CT imaging metrics improve injury prediction”. *Am. J. Surg.* **214**, 1180–1181 (2017).
20. Sato, T. B. Effects of seat belts and injuries resulting from improper use. *Journal of Trauma - Injury, Infection and Critical Care* vol. 27 754–758 (1987).

21. Endo, K. *et al.* Sagittal lumbar and pelvic alignment in the standing and sitting positions. *J. Orthop. Sci.* **17**, 682–686 (2012).
22. Hey, H. W. D. *et al.* How the spine differs in standing and in sitting—important considerations for correction of spinal deformity. *Spine J.* **17**, 799–806 (2017).
23. Kusakabe, T. *et al.* Differences in cervical sagittal alignment between the standing and sitting positions. *J. Orthop. Sci.* **24**, 1005–1009 (2019).
24. Buckland, A. J. *et al.* Obesity Alters Spinopelvic Alignment Changes From Standing to Relaxed Sitting: the Influence of the Soft-tissue Envelope. *Arthroplast. Today* **6**, 590-595.e1 (2020).
25. Nishida, N. *et al.* Changes in the global spine alignment in the sitting position in an automobile. *Spine J.* **20**, 614–620 (2020).
26. Rice, T. M. & Zhu, M. Driver obesity and the risk of fatal injury during traffic collisions. *Emerg. Med. J.* **31**, 9–12 (2014).
27. Whitlock, G., Norton, R., Clark, T., Jackson, R. & MacMahon, S. Is body mass index a risk factor for motor vehicle driver injury? A cohort study with prospective and retrospective outcomes. *Int. J. Epidemiol.* **32**, 147–149 (2003).
28. Zhu, S. *et al.* Obesity and risk for death due to motor vehicle crashes. *Am. J. Public Health* **96**, 734–739 (2006).
29. Zarzaur, B. L. & Marshall, S. W. Motor Vehicle Crashes Obesity and Seat Belt Use: A Deadly Combination? *J. Trauma Inj. Infect. Crit. Care* **64**, 412–419 (2008).
30. Elkbuli, A. *et al.* The association between seatbelt use and trauma outcomes: Does body mass index matter? *Am. J. Emerg. Med.* **37**, 1716–1719 (2019).



31. Hartka, T. R., Carr, H. M., Smith, B. R., Melmer, M. & Sochor, M. R. Does obesity affect the position of seat belt loading in occupants involved in real-world motor vehicle collisions? *Traffic Injury Prevention* vol. 19 S70–S75 (2018).
32. Reed, M. P., Ebert-Hamilton, S. M. & Rupp, J. D. Effects of Obesity on Seat Belt Fit. *Traffic Inj. Prev.* **13**, 364–372 (2012).
33. Richardson, R. *et al.* Thoracolumbar spine kinematics and injuries in frontal impacts with reclined occupants. *Traffic Inj. Prev.* 1–6 (2020).
34. Davies, K. L. Buckled-up children: understanding the mechanism, injuries, management, and prevention of seat belt related injuries. *Journal of trauma nursing : the official journal of the Society of Trauma Nurses* vol. 11, 16–24 (2004).
35. Santschi, M., Echavé, V., Laflamme, S., McFadden, N. & Cyr, C. Seat-belt injuries in children involved in motor vehicle crashes. *Canadian Journal of Surgery* 48, 373–376 (2005).
36. Achildi, O., Betz, R. R. & Grewal, H. Lapbelt injuries and the seatbelt syndrome in pediatric spinal cord injury. *Journal of Spinal Cord Medicine* 30, 21–24 (2007).
37. Sadaghianloo, N. *et al.* Blunt abdominal aortic trauma in paediatric patients. *Injury* 45, 183–191 (2014).