

女性が行う胸骨圧迫の姿勢による質の比較

-バイオメカニクスの検証-

出雲医療看護専門学校 臨床工学技士 期生

研究者 岡美里 池内結乃 菅井莉菜

Keyword: 胸骨圧迫 姿勢 バイオメカニクスの検証 腰回りのモーメント（トルク） 角速度

1. はじめに

救命救急で施される心肺機能蘇生の胸骨圧迫では、5～6cmの圧迫深度とともに1分間に100回前後の押し込みとリコイルを伴う手技が必須とされている。特に、体型が細身で小柄な女性の場合には、胸骨圧迫の手技では真上から上肢を押し込む場合よりも前傾姿勢を取ることにより真上から押す場合と同等の効果が期待され、これにより胸骨圧迫のエネルギー（仕事）を獲得していると考えられる^{1,2)}。また、ストレッチャー移送時に女性看護師が行う胸骨圧迫の姿勢として、歩行しながら行う胸骨圧迫よりも患者に馬乗りになって行う胸骨圧迫が有効である可能性が示唆されている。本研究では、ベッド上で施術者が座位で行う胸骨圧迫と患者に馬乗りになって行う姿勢、およびベッドの脇から立位で行う胸骨圧迫の3つの姿勢の質と男女による体系の違いを比較し、施術者が行う有効な胸骨圧迫姿勢を明らかにする。

2. 研究目的

姿勢および体型の違いでどのような効果が得られるのかを胸骨圧迫の手技に及ぼす姿勢の違いや特徴を検出し、バイオメカニク的に検証することを目的とする。

3. 研究方法

I. 実験対象者

心肺蘇生研修の受講者38名。男子11名、女子27名。

II. 実験方法



(a)ベッドの脇から行う姿勢（立位） (b)ベッド上で行う姿勢（座位） (c)患者に馬乗りの姿勢

図1 胸骨圧迫の姿勢

レサシアン・マネキンモデルを用いて胸骨圧迫を行う。施術者の腰に加速度・角速度センサーを装着し、胸骨圧迫の動作を解析した。胸骨圧迫を行う姿勢の違いを明らかにするために、立位：ベッド脇から行う姿勢(a)、座位：ベッド上で行う姿勢(b)、および患者に馬乗りの姿勢(c)について行った。(図1)

III.実験装置

加速度・角速度センサーを図2に示す。

- ◆X軸, Y軸, Z軸を3軸同時に計測可能
- ◆検出角速度 ±300(deg/sec)
- ◆検出加速度 ±60(m/sec²)
- ◆腰に装着

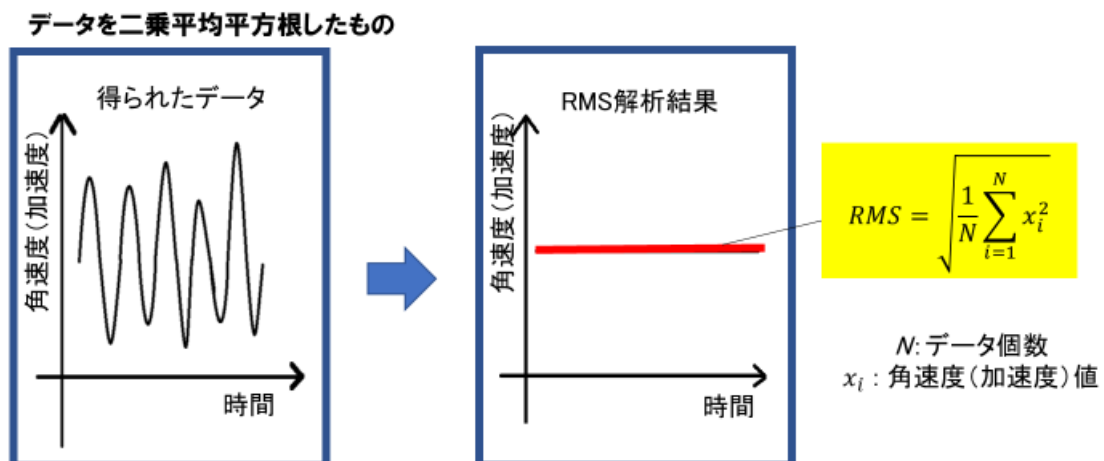


図2.加速度・角速度センサー

IV.データの解析方法

解析方法はRMSを用いる。RMSとは、角速度の数値を二乗平方根したものである。

RMSを用いることにより、角速度の平均を出すことができる。図3の左の波形が生波形で、右の図がRMS解析後の値になる。



RMSの値の大小を比較する。

2023/11/29 2023年度 産学連携研究発表会 1

図3.RMS

V.胸骨圧迫の力学モデル

腰部における回転中心(支点)Oが第四腰椎と第五腰椎の間にあると考え、腰椎を含む上半身部、水平線からの上向き角 θ を逆L字形の棒状の太線(てこ)で模擬し、この逆L字形線の直角部に回転中心(支点)Oがあるとする。力学モデルを図4に示す。

内力として背柱起立筋力Fが上半身部を支えるために働き、その位置(力点)Bは回転中心Oからの距離 L_f にあるとする。 L_f は一般に数cmと短く、不変であると考えられている(図5)。

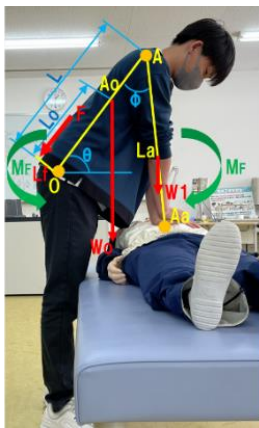


図4.力学モデル

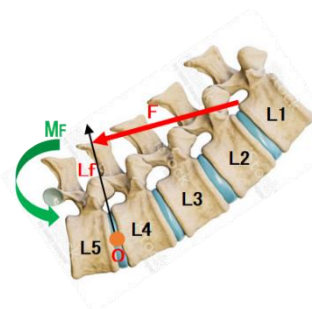
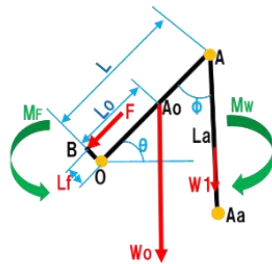


図5.腰椎に加わる力

VI.腰椎回転中心まわりのモーメント

上半身部の重さを W_0 、回転可動上肢（長さ L_a で模擬，上半身部てこからの角を φ ）の重量を W_1 とし，上半身部の全重量 W_0 はその重心（質量中心） A_o に集中的に作用し， W_1 は回転可動上肢を通して作用点 A に作用しているとする。なお，腰椎部の重さは省略している。上半身の重心 A_o および作用点 A と回転中心 O からの距離をそれぞれ L_o および L とすると，モーメントの釣り合いからモーメント M_F は

$$M_F = FL_f = W_0 L_o \cos \theta + F \{ L \cos \theta + L_a (\sin \theta \sin \varphi - \cos \theta \cos \varphi) \} \cdots (1)$$

となる。

引用文献（人体の力学 -基礎から学ぶバイオメカニクス- ，(株)コロナ社）

4.解析結果

<立位姿勢による胸骨圧迫の力学モデルと解析結果>

腰回りのモーメント（トルク） M_F は

$$M_F = W_0 L_o \cos \theta + F \{ L \cos \theta + L_a (\sin \theta \sin \varphi - \cos \theta \cos \varphi) \}$$

となる。ここで、以下のように仮定する。

上半身部の全重量： $W_0 = 40kg$ （ $392N$ に相当）

胸骨圧迫する力の最大値： $F = 450N$

回転中心 O から上半身の重心 A_o までの距離： $L_o = 30cm$

回転中心 O から作用点 A までの距離： $L = 60cm$

回転可動上肢を模擬した長さ： $L_a = 50cm$

実測した写真より、

上半身部の水平線からの上向き角： $\theta \approx 52^\circ$

上半身部てこからの角： $\varphi \approx 44^\circ$

として上式よりモーメント M_F を求めると $M_F \approx 262.1Nm$ となる。

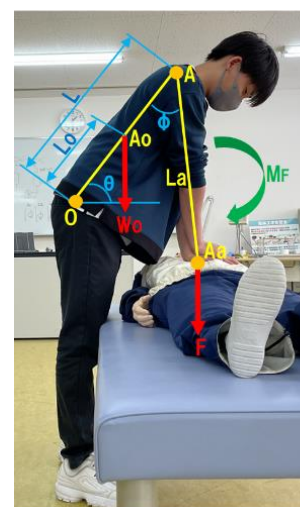


図6.立位姿勢による力学モデル

<ベッド上で座位による胸骨圧迫の力学モデルと解析結果>

腰回りのモーメント（トルク） M_F は

$$M_F = W_o L_o \cos \theta + F \{ L \cos \theta + L_a (\sin \theta \sin \varphi - \cos \theta \cos \varphi) \}$$

となる。ここで、以下のように仮定する。

上半身部の全重量： $W_o = 40kg$ （ $392N$ に相当）

胸骨圧迫する力の最大値： $F = 450N$

回転中心 O から上半身の重心 A_o までの距離： $L_o = 30cm$

回転中心 O から作用点 A までの距離： $L = 60cm$

回転可動上肢を模擬した長さ： $L_a = 50cm$

（立位と同じ条件）

実測した写真より、

上半身部の水平線からの上向き角： $\theta \approx 44^\circ$

上半身部てこからの角： $\varphi \approx 49^\circ$

として上式よりモーメント M_F を求めると $M_F \approx 290.5Nm$ となる。

となり、立位の M_F の約1.11倍となる。

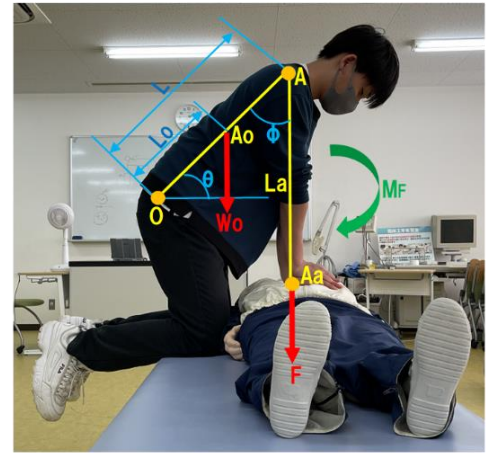


図7.座位による力学モデル

<ベッド上で馬乗りになる胸骨圧迫の力学モデルと解析結果>

腰回りのモーメント（トルク） M_F は

$$M_F = W_o L_o \cos \theta + F \{ L \cos \theta + L_a (\sin \theta \sin \varphi - \cos \theta \cos \varphi) \}$$

となる。ここで、以下のように仮定する。

上半身部の全重量： $W_o = 40kg$ （ $392N$ に相当）

胸骨圧迫する力の最大値： $F = 450N$

回転中心 O から上半身の重心 A_o までの距離： $L_o = 30cm$

回転中心 O から作用点 A までの距離： $L = 60cm$

回転可動上肢を模擬した長さ： $L_a = 50cm$

（立位と同じ条件）

実測した写真より、

上半身部の水平線からの上向き角： $\theta \approx 45^\circ$

上半身部てこからの角： $\varphi \approx 51^\circ$

として上式よりモーメント M_F を求めると $M_F \approx 297.5Nm$ となる。

となり、立位の M_F の約1.14倍となる。

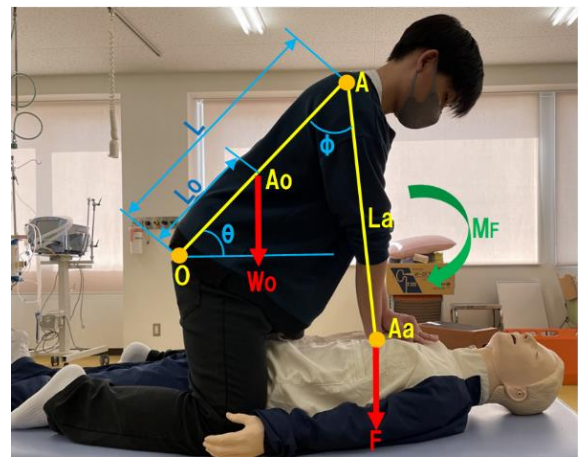


図8.馬乗りによる力学モデル

5.実験結果

座位の RMS は立位より大きく、馬乗りと近い大きさになった (図9)。

また、腰の角速度 ω を図10 (男子)、図11 (女子) に示す。

なお、腰の角速度の値を表1 (男子)、表2 (女子)、表3 (平均) にそれぞれ示す。

実験結果①:腰の角速度 ω の生波形の例

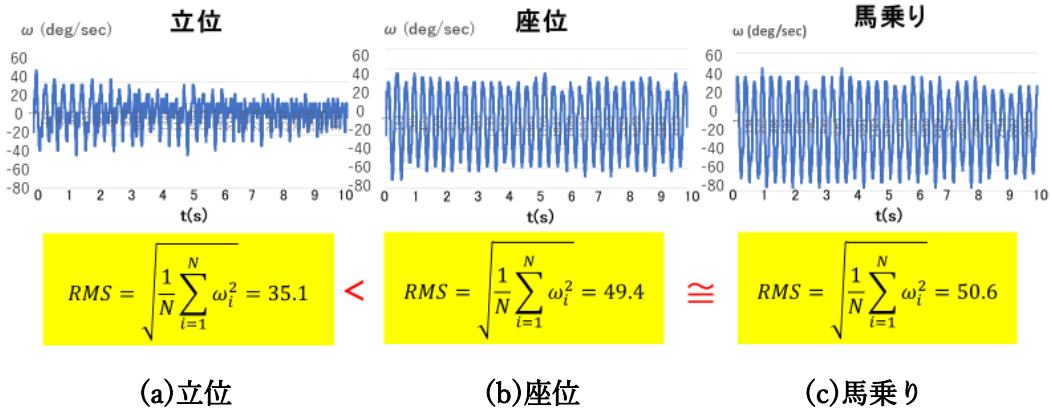


図9.腰の角速度 ω の生波形

実験結果②:腰の角速度 ω のRMS(男子)

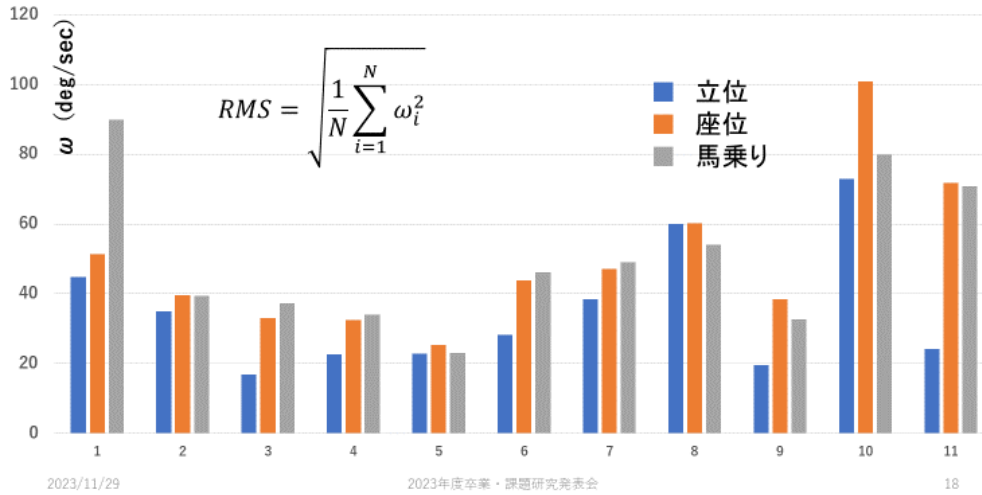


図10.男子の腰の角速度 ω のRMS

実験結果②:腰の角速度 ω のRMS(女子)

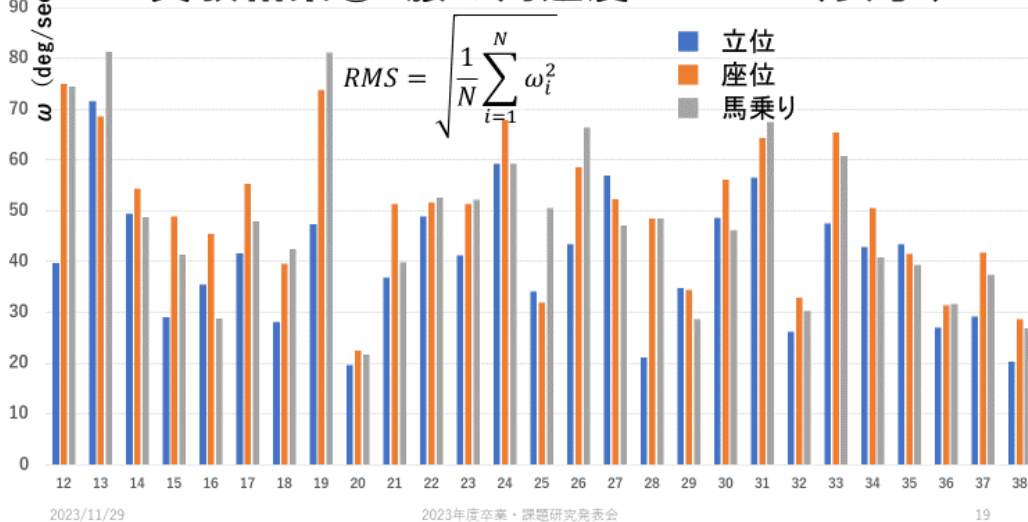


図 11.女子の腰の角速度 ω のRMS

6. 仮説検定

仮説検定として t 検定を用いた。

H0 (帰無仮説) …立位と座位や馬乗りの両者で測定値に差はない。

H1 (対立仮説) …立位と座位や馬乗りの両者で測定値に差がある。

0.05 < p 値ならば、H0 (帰無仮説) を採択

0.05 > p 値ならば、H0 (帰無仮説) を棄却

7. t 検定結果

T 検定の結果は以下の通りである。

(男子 11 名)

座位は立位に比較して、 p 値 $< 0.01 \Rightarrow$ 統計学的に極めて有意な差がある (増加)。

馬乗りは立位に比較して、 p 値 $= 0.012 < 0.05 \Rightarrow$ 統計学的に有意な差がある (増加)。

馬乗りは座位に対して、 p 値 $= 0.799 > 0.05 \Rightarrow$ 角速度に有意差はない。

(女子 27 名)

座位は立位に比較して、 p 値 $< 0.01 \Rightarrow$ 統計学的に極めて有意な差がある (増加)。

馬乗りは立位に比較して、 p 値 $< 0.01 \Rightarrow$ 統計学的に極めて有意な差がある (増加)。

馬乗りは座位に対して、 p 値 $= 0.212 > 0.05 \Rightarrow$ 角速度に有意差はない。

8. 考察

胸骨圧迫におけるエネルギー（仕事）の変換について考察すると、力学モデル解析から、体幹の腰回りのモーメントは座位と馬乗りの方が立位よりも大きくなると考える。従って、実験の結果から、体幹の腰回りの角速度は座位と馬乗りの角速度が立位の角速度よりも大きくなった。従って、回転の動力をモーメント×角速度より求めると、座位と馬乗りの動力が立位の動力よりも大きくなった。以上より、体幹を腰回りに回転させる動力は胸骨圧迫による仕事に変換されることがわかった（図12）。

胸骨圧迫における押し込む力の最大値について考察する。立位姿勢で胸骨圧迫する力の最大値は、450Nであった。座位による胸骨圧迫の場合、立位の場合と同等のモーメントを発生させるためには、胸骨を圧迫する力の最大値は約387Nとなり、立位の場合の約86%となった。馬乗りによる胸骨圧迫の場合、立位の場合と同等のモーメントを発生させるためには胸骨を圧迫する力の最大値は約375Nとなり、立位の場合の約83%となった。このことから立位姿勢よりベッド上の座位や馬乗り姿勢によって、胸骨圧迫する力の最大値を低減出来ると考える（図13）。

男子と女子の角速度の平均値を示す（図14）。立位、座位、馬乗りでわずかな差がみられた。

男子のアンケート結果は座位と馬乗りがやりやすいという結果になった（図15）。

女子のアンケート結果では座位がやりやすく、馬乗りがやりにくいという結果になった（図16）。

考察①：胸骨圧迫のエネルギー（仕事）の変換

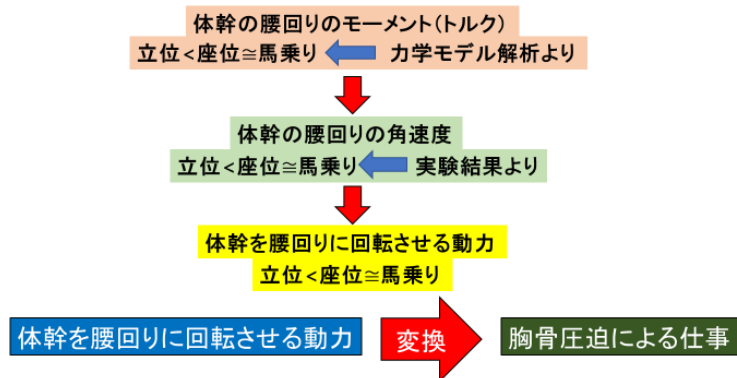


図12.胸骨圧迫のエネルギー(仕事)の変換

考察①：胸骨圧迫における押し込む力の最大値

引用文献(Misato OKA, Yuino IKEUCHI, Rina SUGAI and Satoru OKAMOTO: The assessment of the kinematics of the rescuer in different chest compression styles during cardiopulmonary resuscitation (CPR), The 6th Forum for ASIAN CLINICAL ENGINEERING, Shanghai, China, November 5, 2023.)

立位姿勢で胸骨圧迫する力の最大値は、450N

座位による胸骨圧迫の場合に、立位の場合と同等のモーメントを発生させるためには、胸骨を圧迫する力の最大値はほぼ387Nとなり、立位の場合の約86%となる。

馬乗りによる胸骨圧迫の場合に、立位の場合と同等のモーメントを発生させるためには、胸骨を圧迫する力の最大値はほぼ375Nとなり、立位の場合の約83%となる。

立位姿勢よりベッド上の座位や馬乗り姿勢によって、胸骨圧迫する力の最大値を低減出来る。

図13.胸骨圧迫における押し込む力の最大値

考察②:2群(男子と女子の角速度の平均値)の比較 (男子の平均身長:175.2cm、女子の平均身長:156.4cm)

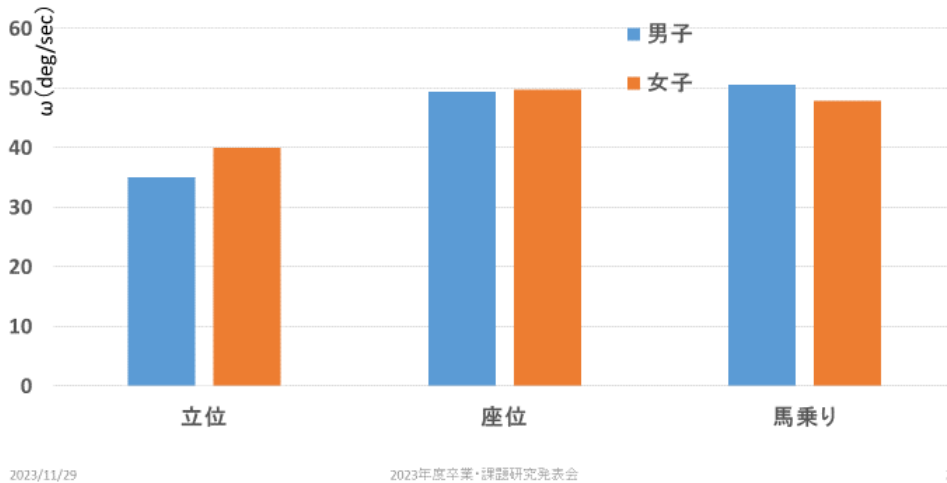


図 14.男子と女子の角速度の平均値の比較

考察③:アンケート結果(男子11名)

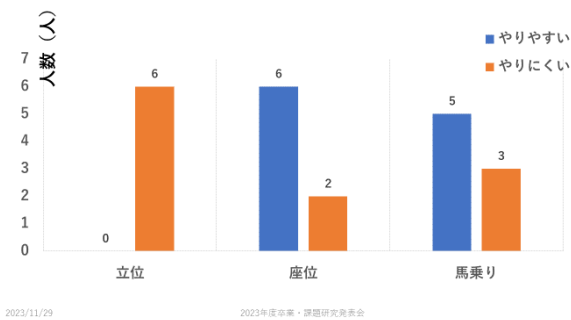


図 15.アンケート結果 (男子 11 名)

考察③:アンケート結果(女子27名)

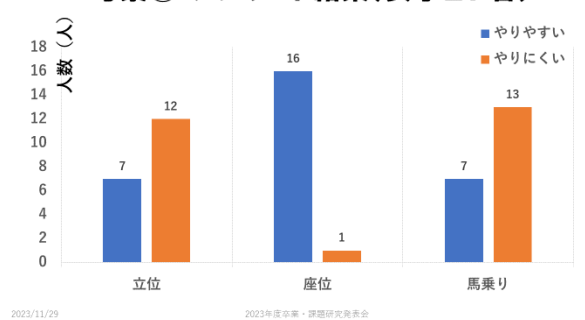


図 16.アンケート結果 (女子 27 名)

9.まとめ

- ・体幹を腰回りに回転させる動力が、胸骨圧迫による仕事(力×深度)に変換されると考えられる。
- ・立位姿勢による胸骨圧迫とベッド上で座位や馬乗り姿勢による胸骨圧迫とで、体幹の腰回りのモーメント(トルク)や角速度に違いが見られた。
- ・体型の違いによる2群、男子と女子では角速度の平均値には違いが見られたが、2群を比較した検定の結果では有意差(有意水準:5%)までは見られなかった。
- ・アンケートの調査結果から、胸骨圧迫の主観的な効果を評価した。

10.結論

- ・ベッド上の座位や馬乗り姿勢による胸骨圧迫により、体幹を腰回りに回転させるモーメント(トルク)の増加と腰の角速度が増大することから、腕による胸骨圧迫の仕事(腕の押込力×押込深さ)が増大すると考えられる。
- ・特に体型が細身で小柄な女性の場合には、立位姿勢よりベッド上の座位や馬乗り姿勢によって胸骨圧迫する力の最大値を低減でき、立位姿勢で圧迫する場合と同等の効果、すなわちエネルギー(仕事)を獲得することが期待出来る。

11.あとなぎ

- ・男女による体型の違い、特に体型が細身で小柄な女性の場合には、さらに被験者数を増やすなどして、胸骨圧迫のエネルギー（仕事）を獲得しているメカニズムを検証する必要がある。
- ・男女の違いを科学的に分析することで社会を変えようとする“ジェンダード・イノベーション”が注目を集めている。今後、この研究が“ジェンダード・イノベーション”に資することが期待される。

12.参考文献

1. Nao Sato, Kenji Karino, Makoto Hirose, Satoru Okamoto, Tomoko Osaka, Hatsue Matsumura, Yoshiaki Iwashita : Chest compressions become deeper when pushing with forward lean: A simulation study, *Resuscitation Plus* 8(2021) 100169-100175.
2. Misato OKA, Yuino IKEUCHI, Rina SUGAI and Satoru OKAMOTO : The assessment of the kinematics of the rescuer in different chest compression styles during cardiopulmonary resuscitation (CPR), The 6th Forum for ASIAN CLINICAL ENGINEERING (第6回アジア臨床工学フォーラム) , Shanghai, China, November 5, 2023.
3. 人体の力学 -基礎から学ぶバイオメカニクス- : 松井 剛一, 照井 直人, 岡本 覚, 横山 隆, 田邊 裕治, 坂本 信, 千葉 美麗, 小林 公一 著, (株)コロナ社

13.発表実績

1. Misato OKA, Yuino IKEUCHI, Rina SUGAI and Satoru OKAMOTO : The assessment of the kinematics of the rescuer in different chest compression styles during cardiopulmonary resuscitation (CPR), The 6th Forum for ASIAN CLINICAL ENGINEERING (第6回アジア臨床工学フォーラム) , Shanghai, China, November 5, 2023.

表 1.男子の腰の角速度 ω

	腰の角速度 ω (deg/sec)		
	立位	座位	馬乗り
1	44.84	51.290	89.950
2	34.980	39.620	39.370
3	16.790	32.970	37.220
4	22.740	32.490	33.950
5	22.860	25.260	23.110
6	28.210	43.830	46.160
7	38.40	47.14	49.03
8	59.98	60.13	54.02
9	19.65	38.41	32.60
10	72.92	100.77	79.81
11	24.19	71.87	70.90
平均	35.051	49.435	50.556
標準偏差	17.8834	21.57235	21.23594

表 2.女子の腰の角速度 ω

	腰の角速度 ω (deg/sec)		
	立位	座位	馬乗り
12	39.640	74.930	74.430
13	71.540	68.590	81.200
14	49.350	54.340	48.770
15	28.980	48.820	41.280
16	35.400	45.450	28.740
17	41.590	55.340	47.960
18	28.02	39.60	42.44
19	47.38	73.69	81.08
20	19.64	22.46	21.63
21	36.85872	51.33828	39.90207
22	48.81372	51.62847	52.55933
23	41.15903	51.28058	52.12969
24	59.204	67.92196	59.19994
25	34.074556	31.86988	50.498036
26	43.434633	58.520437	66.29598
27	56.948273	52.28592	47.139302
28	21.050	48.500	48.400
29	34.83	34.4	28.66
30	48.64	56.17	46.14
31	56.57	64.34	67.39
32	26.12	32.82	30.27
33	47.56	65.38	60.79
34	42.89	50.47	40.84
35	43.38	41.49	39.36
36	27.02	31.31	31.65
37	29.14	41.72	37.4
38	20.31	28.58	26.9
平均	39.983	49.750	47.891
標準偏差	12.87595	14.09695	16.16108

表 3.腰の角速度 ω の平均値

	腰の角速度の平均値 $\bar{\omega}$ (deg/sec)		
	立位	座位	馬乗り
男子	35.051	49.435	50.556
女子	39.983	49.750	47.891