

身体の重心 — 加齢に伴う変位と体格体型との関係

Research on the Center of Gravity of Human Body

— The relationship between the center of gravity of human body and physical structure by aging —

次世代教育学部学級経営学科

太田 裕造

OHTA, Yuzo

Department of Classroom Management

Fuculty of Education for Future Generation

キーワード：身体重心 加齢変位 体格体型

Abstract : This study was practiced about the results of two contents on the center of gravity (CG) of human body. The first aim was to clarify the change of the CG in life long span by aging. The second aim was to elucidate the characteristics in the CG of the human body structure. For a measure method of the CG the principle of the 3rd lever was applied. The subjects of the study were 615 men and women from 13-year-old to 90-year-old. The results were summarized as follows: The CG of the human body is higher at the 10th generation and is becoming lower at the 20 & 30th generations, and the CG of older generations is going higher gradually by age. The change of the CG in the generations is related to the physique and proportion by aging. The CG is lower in the athletes whose upper limbs and upper part of the body showed remarkable development. On the other hand, CG is higher in the athletes whose lower limbs developed remarkably. It was concluded that the characteristics of human motion & exercise make up the position of CG which depend on the physique & proportion.

Keywords : Center of Gravity (CG) aging body type

はじめに

身体を上肢と下肢の左右を合わせて15の分節（セグメント）に分けるが、静的状態で身体重心は体幹中央部・臍点の近辺に在る（図1₍₁₀₎）。われわれは生活動作の中でも重心を意識することも多い。両足の位置取りでは立位姿勢も不安定になることも度々体験することである。腕を挙げる、膝を曲げるなど日常生活行動の一寸した動きで重心の位置も変わる。あらゆる運動動作中に変化するその重心の位置を動きの中で微調整しながら動的バランスを維持している。電車やバスなど車内で立っているときにつり革に掴まらなると倒れそうになる時や高いところで作業をする時にバランスをうまくとらないと墜落の危険があると感じる時などである。足の位置を変える、膝を曲げるなど立位姿勢のバランスは重心位置の制御に依っている。立位姿勢の安定制御というのは重心を両足の位置とりによって決ま

る安定性限界内に保持しなければならない（図2₍₁₀₎）。

そのためには空間における身体各分節の配置が大切であり、内部エネルギーの消耗を最小にして身体平衡を保つ必要がある。平衡性を保持する能力は加齢に伴って次第に低下する。それは、①身体の位置と動きを調節するために必要な感覚（視覚、前庭、体性感覚）が衰える、②身体位置を制御するための筋-神経協応能が低下する、などに因っている。老化がすすむと脊柱が曲がり前かがみになるため重心位置が足底前方にあり、躓いて転倒しやすくなる。そこにロコモティブシンドロームにつながる原因がある。そこで加齢に伴う脊柱変位の進行をすすませないように姿勢教育も大切なことである₍₈₎₍₉₎。

平衡性を保つために諸筋群を協調的に働かせ空間の身体位置を制御する能力は、姿勢制御にとって本質的な部分である。平衡性を保持する際に、一つの関節に生じる力が身体の他のいかなる部分をも不安定にさせ

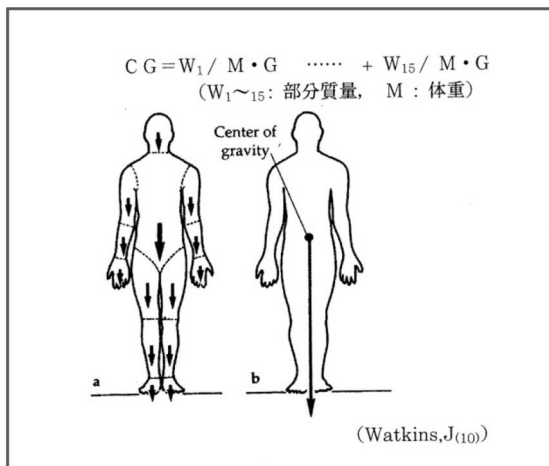


図1 身体重心

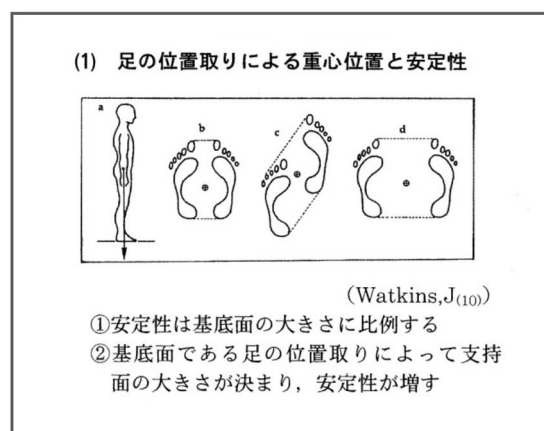
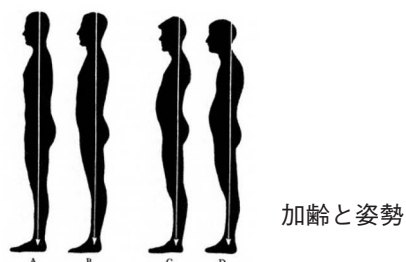


図2 足の位置どりと安定

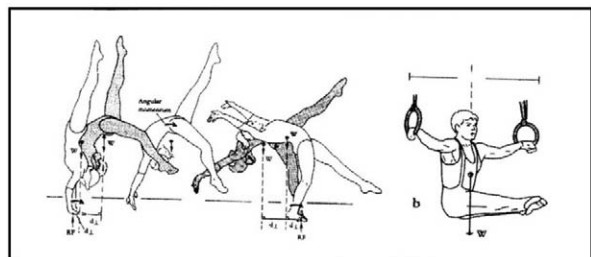


ることがないように機械的に結合している複数の関節にある協働筋群が中枢神経系により制御される。安定した姿勢を保つためには、身体各分節が空間のどこにあるのか、そしてそれが保持状態にあるのか動的状態にあるのかを捉えなければならない。内耳にある前庭器官は重力や加速度、慣性などを感じ、身体の定位に関する情報器官である。また、前庭系からの信号では空間における身体の定位について中枢神経系に提供することはできないため感覚器のうち視覚が身体各分節の位置関係においての情報を提供することになる。さらに、皮膚感覚、筋感覚など表在・深部の体性

感覚は中枢神経系へ空間の身体位置に関する情報を送る。

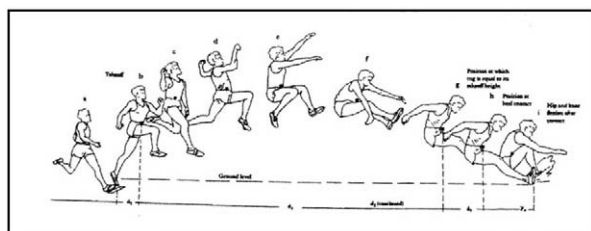
運動中の重心は身体分節の空間における位置取りで姿勢やフォームが時々刻々変わる。ダイナミックなスポーツ運動では効率的なフォームをつくり、また姿勢の安定を保つために重心のコントロールによってパフォーマンスが決定づけられる。

並進運動（ロコモーション）では身体重心の移動を平行運動としてスムーズにさせることも、また跳躍運動では重力に抗して身体重心をいかに上げるかもパフォーマンスに関係する。巧みな動きをつくりだし、効率性の高い運動に欠かすことのできないのが重心位置の制御である。あらゆる運動中の重心制御の重要性はスポーツマンでは誰しも経験し知っていることである。



(Kreighbaum, E. (3))

体操選手が床運動で倒立しているときのバランスや吊り輪運動のときの吊りロープの揺れを抑えようと重心の制御に腐心している姿が見られる。競技では着地の際にバランスを失い着地位置にブレが生じると減点の対象になるため細心の注意を払う。

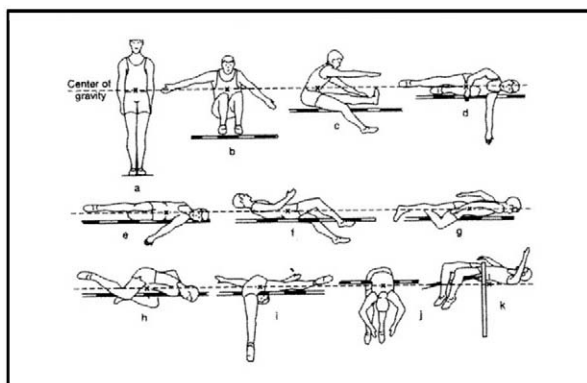


(Kreighbaum, E. (3))

陸上選手の走り幅跳びは助走から始まって踏み切り飛び出しの角度、空中フォームは正しく重心の制御である。また、空中姿勢における四肢の位置によって跳躍距離に差が生じる。

走り高跳びの場合でもフォームによって跳躍高に差が生じる。助走、踏み切りと空中姿勢によって競技成績が決まる。現在では定着した跳躍フォームになったが、フォスベリー（1968年メキシコオリンピックの金メダリスト）が考案した背面跳びは垂直方向への跳躍

によって重心位置を挙げるのではなく、体位によって重心位置を上げる跳躍フォームである。



(Dyson, GHG. (1))

剣道では打突の際の姿勢（勢い）によって技が有効と判定されるが、重心移動を伴う、つまり腰の入った打突でなければならない。

柔道や相撲での投げ技は、自らの重心の制御と敵手の重心を基底面から外に引き出すことによって決まる。

フィギュアスケートでは重心制御による動的バランスが美しいフォームを生み出し、また採点評価の対象にもなる。

このように美しいフォーム、高いパフォーマンスを呼び出す運動、効率的な運動などはすべて重心位置のコントロールによって生まれているのである。スポーツ活動中での動的な重心の制御についていくつかの例を挙げたが、その重心の位置はもともと身体のかたちの属性である。本論文での主旨はわれわれの体の属性としての重心そのものに焦点を当てることである。

研究目的

身体重心を属性として捉え、重心の位置は体格体型によって差があるのか、性差はあるのか、また加齢によって変位するのかなど本研究では身体に関する基礎データとして提供するのが目的である。

研究方法

対象：被験者は13歳から90歳の男女615人（男子296、女子319）であった。その内に大学生97人（男子59、女子38）が含まれる。測定は、児童生徒学生を対象として学校現場で、成人（青・壮年齢）を対象として地域の体育館・公民館でフィールドワークとしてお

こなった。先行研究⁽⁷⁾の補完としての本研究は平成19年から平成22年の夏季の温暖な時期（7月～8月）におこなった。

測定項目：体格体型の基礎指標としての身長、体重、皮下脂肪厚、上・下肢骨幅など生体計測をおこなった。これらの測定項目から体格指数（PI、BMI）、体型指数（ヒース・カーター法）⁽²⁾⁽⁶⁾を算出した。

重心測定には第三種のとこの原理を利用する。第三種のとことは図3のような、支点Fと作用点Lが両端にあり、力点Eがその間にあるものである。

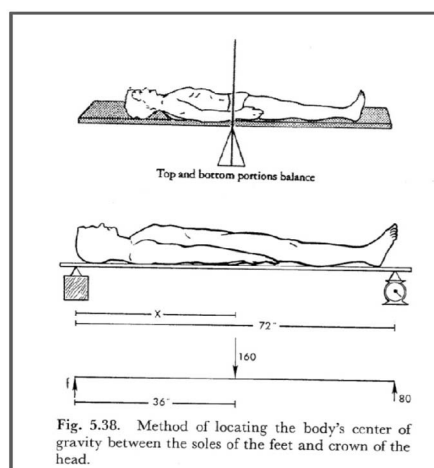
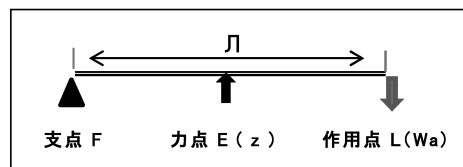


図3 身体重心の測定法⁽⁴⁾

〔第三種のとこの原理〕



(a) 支点Fを頭頂点として板上に軽装で両腕を体側に添え、仰臥位にさせる。作用点Lでの反力（質量）を体重計で測る。

$$Wt \cdot Z = \text{JI} \cdot Wa$$

$$Z = (\text{JI} \cdot Wa) / Wt$$

ここで、Wtは体重、Zは重心位置、JIは支点と作用点との長さ、Waは体重計の目盛り、計量最小単位は10g

(b) 重心比を算出する。

身長に対する足底面から比率を算出する。

$$Z' (\%) = ((Ht - Z) / Ht) \cdot 100$$

ここで、Z'は重心比（足底からの重心高：CG
Htは身長）

表1 測定結果集計表

年代別・性別 集計結果

男性									
年代	10	20	30	30	40	50	60	70	80
n	51	59	35	22	20	22	26	40	21
mean	55.92	55.13	55.50	55.12	55.78	55.72	55.87	56.38	56.70
SD	1.39	1.34	1.13	2.12	1.52	1.72	1.47	1.55	1.94
max	58.32	58.83	57.67	58.86	58.86	58.91	59.04	59.64	60.80
min	52.94	52.17	52.26	52.32	52.33	52.84	53.00	52.17	53.4
女性									
年代	10	20	30	30	40	50	60	70	80
n	40	38	30	27	32	31	40	40	41
mean	55.24	54.76	54.71	55.18	55.54	55.63	56.02	56.59	56.57
SD	1.44	1.48	1.35	1.16	1.33	1.46	1.68	1.92	1.87
max	58.28	57.64	59.45	57.42	58.96	58.82	59.38	60.40	60.40
min	52.01	51.25	52.49	52.28	51.07	52.09	52.14	51.91	52.10

結果と考察

1. 測定結果

測定値の集計結果を年代別、性別に一覧表として表1にまとめた。

(1) 加齢変位

身体重心には加齢変位が見られる(図4)。幼児期学童期では重心が高いのはシュトラッツの相対成長の図からも首肯されると思う。頭部が相対的に大きい体型である。その後の成長期では重心は次第に低くなり、青年後期から30代で最も低くなる。さらに、加齢に伴って次第に高くなる。これらは、成長期における体幹、上肢・下肢の筋・骨格の発育発達や体組成の変化、老年期における下肢筋の衰退、など筋/骨格や体脂肪率など加齢による体格体型の変位との関係である⁽⁶⁾。

(2) 性差

女子の重心は男子よりも低い位置にある。男子に比べて女子は骨盤が大きいことや腰腹部周囲の脂肪量が多いことなど女性特有の体型との関係である。性別に、年代別に、性差を区分分布で見ると明瞭である(図5, 図6)。男子での中央値は55.9(平均値55.8, 分散2.15)であるが、女子では、54.1(平均値54.4, 分散6.03)である。女子は低いところでの分布が多くなっている。また、女子の分散は大きい。

(3) 体格体型との関係

身体重心は体格体型によって差があるだろうか体格体型の諸指数との関係を探った。

(3-1) 身長(骨要素)との関係

身体重心は、身長との間に相関関係が認められる(図7)。これは大学生を対象としたデータであるが、身長が高いほど重心は高い位置にあるという関係である

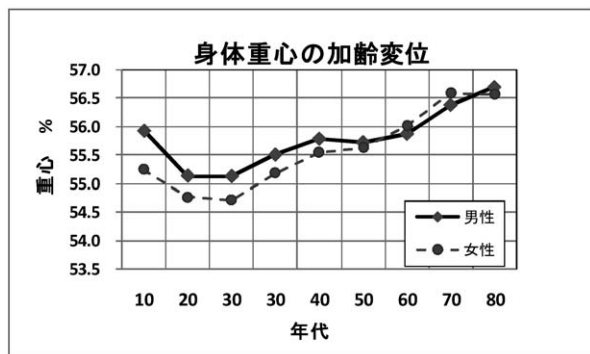


図4 重心の加齢変位

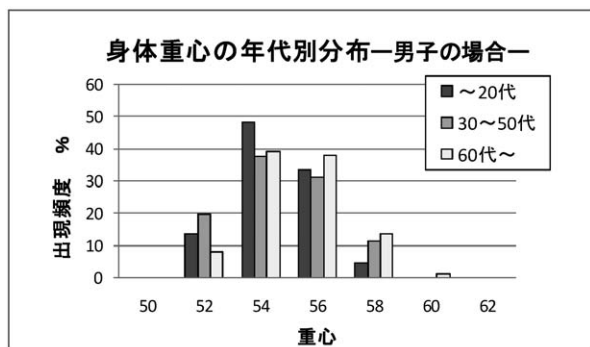


図5 年代別分布—男子—

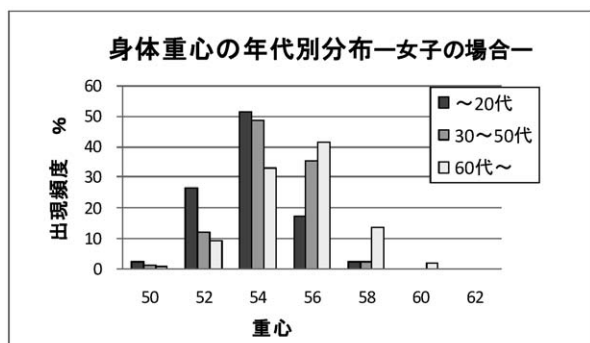


図6 年代別分布—女子—

($r=0.309$, $P<0.01$)。上肢では、上腕骨幅 (Humerus Width) との間で、 $r=0.411$ の相関 ($P<0.01$)、下肢では、大腿骨幅 (Femur Width) との間で、 $r=0.256$ の相関 ($P<0.01$)、であった。

(3-2) 体重 (質量要素) との関係

体重との相関関係も認められる ($r=0.333$, $P<0.01$) (図8)。それは、身体質量を占める各分節 (頭部、体幹部、四肢) や体組成 (筋量や脂肪量) の要素によって決まるからである ($r=0.479$, $P<0.01$)。

身体密度 (BD) との関係も強い ($r=0.458$, $P<0.01$)。体密度は筋量と脂肪量 (体組成) によって決まるが、身体密度が高いほど重心は低いという関係である⁽⁷⁾。

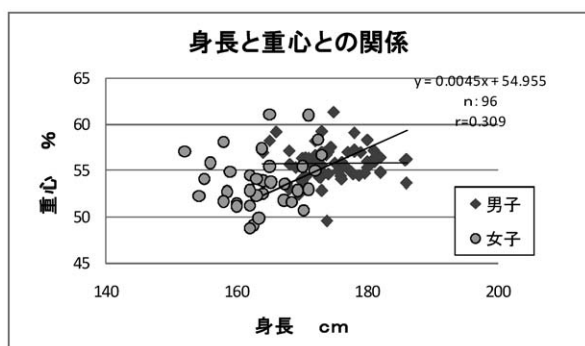


図7 身長との関係

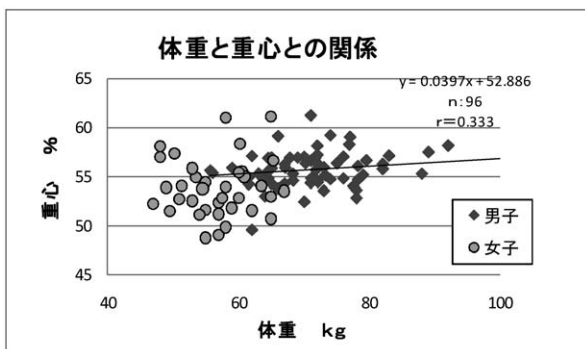


図8 体重との関係

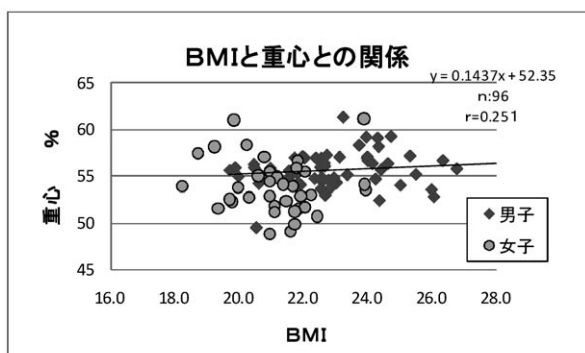


図9 BMIとの関係

(3-3) 体格・体型との関係

身体を立方体として捉えている体格指数PI (ポンドデュラル指数: $Ht/\sqrt[3]{Wt}$) との相関も有意であったが ($r=0.421$, $P<0.01$)、BMI (カウプ指数) との関係には有意性は認められなかった (図9)。

また、体型指数との相関を見ると、Ect (外胚葉指数) との関係が強く ($r=0.404$, $P<0.01$)、次いで、End (内胚葉指数) との関係でも有意性が認められた ($r=0.292$, $P<0.05$)。Mes (中胚葉指数) との相関は認められなかった。

(4) 多変量解析

上ではCGと体格・体型要素とのそれぞれの関係を個々にみた単相関であったが、重心を目的変数として諸変数 (身長、体重、体格指数PI、体型指数、体密度) を重ね合わせた重回帰分析をおこなった。

重回帰分析の結果から実測値と理論値との間の重相関も高く ($R^2=0.894$)、決定係数 (寄与率) は0.799であった。また、分析の精度をみるダーヴィンワトソン比 dw は2.0前後で残差をランダムとするので、この関係分析に用いたサンプリングの恣意性はないと言える。この分析結果の検定を意味する分散分析では、 $P<0.01$ であったことから有意性が認められた。

重回帰分析では多くの変数を取り上げたが、変数の中には基礎変量 (身長、体重) から算出された類似性のある変数も含まれていること、また重回帰式を用いて推定値を出そうとする場合に変数が多くておよそ実用的ではない。そこで、取り上げる変数をできるだけ少数個に集約すること、また取り上げた変数間に類似性がないこと、さらに変数として定量する場合に実際の測定上で容易であることなども重要な条件である。

そこで、基礎的指標である身長 (骨要素) と体重 (質量要素) とを変数として再度分析した。

重回帰式

$y = 0.592x_1 - 0.026x_2 - 5.167$, が得られた。

ここで、

y : 足底からの重心 (cm), x_1 : 身長 (cm),

x_2 : 体重 (kg)

この重回帰式による再現性の確認を大学生12名を対象として、上の式のあてはまりのよさについて検討した (表2)。おこなった。Z(1) は実測値、Z(2) は重回帰式に当てはめ算出した推定値である。

表2 重回帰式の利用

	身長	体重	実測値 推定値			
			Z (1)	Z (2)	Z1-Z2	(Z1-Z2)~2
1	170.6	67	54.3	55.2	-0.86	0.74
2	175	82	55.8	55.0	0.75	0.56
3	181.1	67.1	55.9	55.4	0.52	0.27
4	170	63	55.3	55.2	0.10	0.01
5	176	79.0	55.2	55.1	0.08	0.01
6	179.6	78.2	54.7	55.2	-0.51	0.26
7	176.1	65	55.8	55.3	0.54	0.29
8	177.5	71.1	54.8	55.2	-0.41	0.17
9	169	88	55.3	54.8	0.50	0.25
10	165	56	55.4	55.2	0.19	0.04
11	176	79.0	55.2	55.1	0.08	0.01
12	175.5	61.5	54.9	55.3	-0.41	0.17

19~22歳男子大学生

多数の変数を取り入れた分析とほぼ同じ値であった。また分散分析でも、 $P<0.01$ の有意性が認められることから、基礎的指標である身長と体重の測定値から上の重回帰式にあてはめ身体重心が推定でき、実用性が高い。

要 約

身体重心の加齢変位についてみると、10代では重心の位置は高いが、20・30代へと低くなり、その後また加齢にともなって次第に高くなる。この加齢変位は体格体型の加齢変位との関係である。

重心の加齢変位は、その規定要因としての体格体型には諸々の要因が含まれている。内的要因としての遺伝と外的要因としての生活様式（食生活と運動など）によって形成される体格体型に依って重心が変位するからである。また、成長期過ぎて生活様式が比較的同じような大学生を対象とした測定結果では、スポーツ活動による身体発達による特性を反映して重心にいくらかの差がある。大学生を対象とした重心の測定では上肢と上体の発達が顕著な器械体操などのスポーツ種目では身体重心は高く、下肢の発達が著しいサッカーなどの種目では身体重心が低いという関係であった。スポーツの運動特性と関連して下肢の発達、上肢の発達、体幹の発達など身体構成と体格体型に特徴が見られるからである。多くの球技系では、荷重が大きく架かるステップワークがあるため下肢筋の発達が顕著であり重心が低い、反対に、上体と上肢筋の発達が顕著な水泳や器械体操などでは重心が高い、などの傾向であった。

運動動作の中で重心の位置は絶えず変動し、動きの安定性や平衡性を保持するときに重要なはたらきをし

ていることから、運動動作を巧みに調整しなければならないスポーツ選手では運動技術において重心の位置を調節させることがパフォーマンスを決定づける要因になっている。競技ではパフォーマンス向上のために重心位置のコントロールを意識しながら動きを作り出すために重要なことである。

以上、体格体型の特徴との関係で自分自身の身体重心の位置を知っていることは動的また静的な安定性や平衡性の維持のため、さらに、ロコモティブシンドローム予防のための予備知識として有用である。

引用・参考文献

- (1) Dyson, G.H.G.(1970) The Mechanics of Athletes, Univ. of London Press
- (2) Heath, B.H. and Carter, J.E.L.(1966) A Comparison of Somatotype Methods. Am.J.Phy.Anth., 24:87-99
- (3) Kreighbaum,E.,Barthels,K.M.(1985)Biomechanics-A Qualitative Approach for Studying Human Movement-, Burgess Pub
- (4) Luttgens,K.,Deutsch,H.,Hamilton,N.(1982) Kinesiology-Scientific Basis of Human Motion-, Brown & Benchmark
- (5) Miller,D.I.,Nelson,R.C.(1973) Biomechanics of Sport, Lea & Febiger
- (6) 太田裕造, 太田賀月恵 (2002)「日本人の体格体型」大学教育出版
- (7) 太田裕造 (2004)「身体重心の年齢変位と体格体型との関係」福岡教育大学紀要 第5分冊第53号, 61-68, 平成16年2月
- (8) 太田裕造 (2008)「日常生活の中のストレッチ運動とその効用」環太平洋大学紀要創刊号, 89-93, 平成20年3月
- (9) 太田裕造 (2010)「棒拳上運動によるストレッチングと姿勢矯正への効果」環太平洋大学紀要第3号, 107-110, 平成22年3月
- (10) Watkins, J.(1999) Structure and Function of the Musculoskeletal Systems, Human Kinetics

(平成22年11月19日受理)