

視覚障害者スポーツ領域に有用となる視覚障害者を対象とした重心動揺計を用いた バランス能力評価に関する研究 (A: 視覚障害者編)

田邊裕基¹⁾, 鈴木康裕^{1,2)}, 岩淵慎也¹⁾, 加藤秀典¹⁾, 久保匡史¹⁾, 羽田康司³⁾
石川公久¹⁾, 中田綾子¹⁾, 久保匡史¹⁾, 青木麻美¹⁾, 鄭京秀⁴⁾

要旨

姿勢制御やバランス制御機構には視覚情報が重要な役割を果たすとされ、さらに年齢や前庭機能、体性感覚および下肢筋力の関連が重要とされている。そのため、視覚器に障害を有する視覚障害者の重心動揺は視覚情報以外の前庭、迷路系や体性感覚からの固有感覚情報が深く関与している可能性が考えられている。今回、我々は若年者から高齢者までの弱視者 49 名、平均年齢 42.6±18.2 (19~69 歳) を対象に弱視者のバランス能力を身体機能評価および年齢との関連を検討した。

結果から、年齢と体性感覚(振動覚・表在覚)、筋力(膝伸展筋力・持久力)に有意な負の相関を認め(p<0.01)、年齢とバランス能力指標である開眼・閉眼片脚立ち検査、IPS に有意な負の相関を認めた(p<0.01)。また、開眼・閉眼片脚立ち検査、IPS と感覚検査(振動覚・表在覚)、筋力検査(膝伸展筋力・膝伸展持久力)に有意な正の相関関係を認めた。しかし、より高度なバランス能力が求められる閉眼および軟面上で行う MIPS には年齢と有意な相関を認めず、MIPS と膝伸展筋力(rho=0.29 p<0.05)・膝伸展持久力(rho=0.346 p<0.05)に弱い相関を認めたが、感覚検査(振動覚・表在覚)と MIPS には有意な相関を認めなかった。これらのことから、弱視者における閉眼および不安定な環境下でのバランス特性には何らかの視覚代償が働いていることが考えられ、それらは体性感覚および下肢筋力以外の前庭、迷路系といった体性感覚からの固有感覚情報が優位に影響している可能性が推定された。

さらに、若年者においてはスポーツ競技者でない弱視者と視覚障害者アスリート(ロービジョンフットサル選手)との比較を行い、バランス能力と身体機能評価を比較した。対象は若年者 40 名(弱視者 20 名 vs 視覚障害者アスリート 20 名)平均年齢 22.7±3.9 (19~35 歳)であった。弱視者と視覚障害者アスリートの比較の結果、膝伸展筋力、膝伸展持久力、足関節背屈筋力はアスリートが優位に優れていたが、バランス指標である開眼・閉眼片脚立ち検査、IPS、MIPS すべてに有意な差を認めない結果であった。このことから、若年者におけるバランス能力は、ある一定の体性感覚および下肢筋力があれば有意な差が表れにくいものと考えられ、低視力を補うためにそれら以外の前庭、迷路系といった体性感覚からの固有感覚情報等の影響が、より優位に働き一定のバランス能力が担保されている可能性が考えられた。

キーワード: 視覚障害者、バランス能力、年齢、視覚障害者アスリート

● 研究内容

【目的】

姿勢制御やバランス制御機構には、視覚情報が重要な役割を果たすとされ、これまでに視覚条件と姿勢、特に重心動揺との関係について多くの報告がされている^{1,2,3,4)}。さらに、バランス機能には視覚情報に加えて加齢や体性感覚系の関与が示されており、choy.ら⁵⁾は、加齢によるバランス低下の影響を明らかにしている。また、Shaffer.ら⁶⁾は、高齢者における振動覚、二点識別覚、固有感覚受容器など体性感覚の低下を示し、姿勢の不安定性が転倒のリスクにつながるとしており、体性感覚指標の評価の重要性を示している。

一方、バランス能力の高い健常アスリートにおいても、体性感覚による動的バランス能力が優れていることが報告されており、動的バランス能力に影響する体性感覚の重要性が示されている⁷⁾。

また、バランス能力に影響を与える因子は視覚・前庭、体性感覚に加え筋力の影響も挙げられており、片脚立位バランスと下肢筋力との関連が多く報告されている^{8,9)}。

我々はこれまでに、若年から高齢者までの健常者を対象に、望月ら¹⁰⁾により考案された重心動揺計を用いた IPS(index of postural stability 以下: IPS)を動的バランス能力の指標として年齢との関連性を検討した。さらに IPS に閉眼およびラバー負荷を測定条件に加えた修正 IPS(modified index of postural stability 以下:MIPS)を用いて、深部感覚および動的バランスの深部感覚と視覚の複合的代償についても検討をおこない、年齢との関連性を横断的に検討した。その結果(参考: 図 1)、すべての評価指標において年齢の影響を受けることが示唆された。このことから、動的バランス能力および深部感覚は高齢になるほど低下

し、動的バランスの深部感覚と視覚の複合的代償は高齢になるほど強まることを報告した¹¹⁾。さらに、若年健常者において動的バランス能力指標であるIPSおよびMIPSと身体機能との関連性について、膝伸展筋力との関連を報告している¹²⁾。

一方、視覚障害者における重心動揺は、開眼と閉眼との比較から、姿勢制御やバランス能力に重要とされる視覚情報の影響を受けない事が報告されており、視覚情報以外の前庭、迷路系や体性感覚からの固有感覚情報が深く関与している可能性が考えられている^{2,3,4)}。

しかし、これまでに視覚障害者のバランス能力と前庭、迷路系といった固有感覚情報などの関連性を十分に検討した報告はなく明らかにされていない。また、視覚障害者のバランス能力に対する基礎資料は少なく、年齢における変化や簡便な筋力・体性感覚検査などの身体機能評価との関連性を検討した報告も見当たらない。

そこで本研究では、若年者から高齢者までの弱視者を対象に、動的バランス指標であるIPS・MIPSを用いて、バランス能力と年齢との関連性を検討することを目的とした。さらに理学療法評価を用いて弱視者におけるバランス能力と身体機能との関連性を調査する事とした。また、若年者群においては、スポーツ競技者でない弱視者と視覚障害アスリート（ロービジョンフットサル選手）を対象に同様の評価を行い、それらを比較し身体機能評価からバランス関連因子を調査することを目的とした。

【対象】

弱視者の年齢とバランス能力との検討は、弱視者49名。平均年齢42.6±18.2（19～69歳）であった。また、若年者における弱視者と視覚障害者アスリートとの比較の検討は弱視者40名（一般20名 vs 視覚障害者アスリート20名）平均年齢22.7±3.9（19～35歳）であった。

適格条件として、視覚障害を有する対象者は全盲者を除く視覚障害手帳保有者および身体障害者障害程度等級表に該当する弱視者とした。

またすべての対象者は四肢運動障害・末梢知覚障害がなく、その場での直立姿勢が可能である。めまいの既往がなく、歩行および介助歩行が可能である者とした。

【方法】

バランス検査は、重心動揺計（アニマ社製グラビコーダGS-10 type C：測定周波数20 Hz）および軟面マットAIREX® Balance-pad plus（AIREX AG社製、25%圧縮抵抗20 kPa、密度5 kg/m³、張力260 kPa、410×500×60 mm）を用いた。測定方法は、望月ら¹⁰⁾、鈴木ら¹¹⁾が考案したIPS、MIPSの検査手順に則りそれぞれ実施した。その結果から、IPSを姿勢安定度評価指標とし閉眼・軟面上での姿勢

安定度評価指標をMIPSとして「log [(安定性限界面積+重心動揺面積)/重心動揺面積]」を算出した。

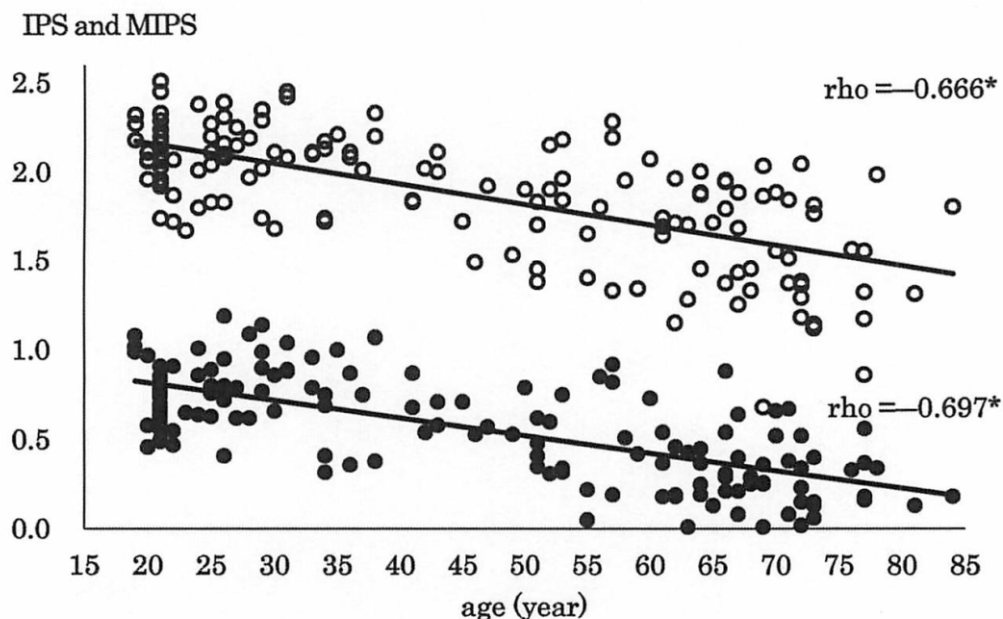
片脚立位検査は、文部科学省が定めた「新体力テスト実施要項（65～79歳対象）」¹³⁾および財団法人中央労働災害防止協会「転倒等災害リスク評価セルフチェック実施マニュアル」¹⁴⁾を参考として片脚立位検査を開眼・閉眼で左右それぞれ2回ずつ測定した。計測時間は、開眼で最長120秒・閉眼で最長60秒までとして、それぞれの最長値を採用した。1回目の測定で開眼120秒を達成した場合には、2回目の測定は実施しなかった。閉眼立位検査も同様に行った。

体性感覚検査には、表在感覚測定にモノフィラメントを使用し、踵部にて触覚を測定した。深部感覚測定にはノギスを踵部にて2点識別覚、音叉C128を下腿内果にて振動覚をそれぞれ使用して左右の平均値を計測した。

筋力検査測定にはトルクマシンにて膝伸展筋力（60°/秒：Nm/Kg）・膝伸展持久力（360°/秒：J）を効き側の等速性筋力を測定した。徒手筋力測定器（μ-tas MF01、アニマ社製）にて足背屈筋力、足趾間圧力計測器（日伸産業株式会社）にて足趾筋力を左右の平均値を計測した。また、上記した理学療法評価項目とIPS、MIPSとの関連性の検証をおこなった。

統計解析方法は、年齢とその他の評価項目をSpearmanの順位相関係数により検討を行った。また、若年群から弱視者と視覚障害者アスリートにおける各指標の比較には、対応のないt検定を用いて行った。使用ソフトはSPSS (Ver21)を用い、すべての統計有意水準は5%未満とした。

参考：図.1 Correlations of age with IPS and MIPS



○ : IPS

● : MIPS

* : $p < 0.001$

IPS, index of postural stability ; MIPS, modified, index of postural stability

引用：鈴木康裕:重心動揺を用いた動的バランス能力と年齢の関連;体力科学,第 64 卷,第 4 号 419-425(2015)

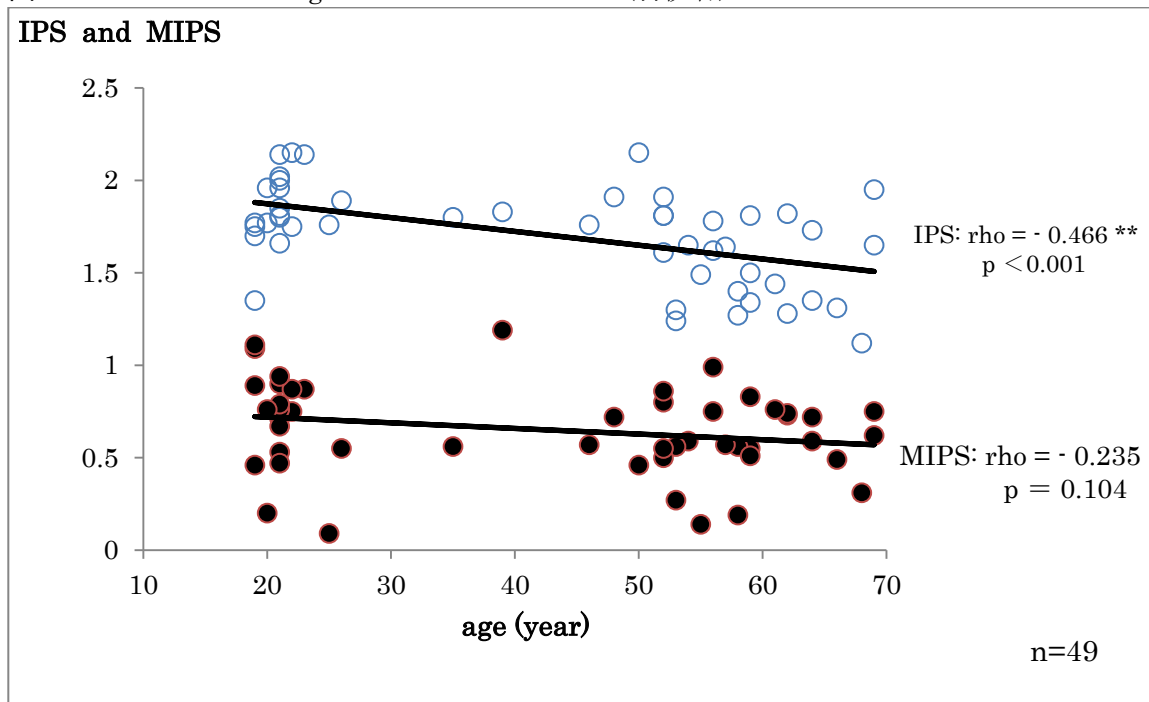
表 1. 対象の属性

N	49
男/女	28/21
年齢(age)	42.6±18.2
身長(m)	1.64±0.8
体重(Kg)	61.2±9.6
BMI(Kg/m ²)	22.6±2.8

表 2. 年齢と各指標との関連性

	R	p
身長	-0.044	0.763
体重	0.248	0.085
BMI	0.402	< 0.01**
振動覚 (sec)	-0.674	< 0.01**
二点識別覚	-0.066	0.654
表在感覚	-0.798	< 0.01**
握力	0.047	0.75
膝伸展筋力 (Nm/Kg)	-0.576	< 0.01**
膝伸展持久力 (J)	-0.457	< 0.01**
足背屈筋力 (Kgf)	0.229	0.113
足趾筋力	0.267	0.064
開眼片脚立ち (sec)	-0.514	< 0.01**
閉眼片脚立ち (sec)	-0.458	< 0.01**
IPS	-0.466	< 0.01**
MIPS	-0.235	0.104

図.2 Correlations of age with IPS and MIPS (弱視者)



○ : IPS

● : MIPS

** : p < 0.001

IPS, index of postural stability ; MIPS, modified, index of postural stability

表 3. 若年者における属性

	非競技者	アスリート
N	20	20
man/women	13/7	20/0
Age (year)	21.8±3.6	23.6±4.26
身長(m)	1.64±0.1	1.71±0.1
体重(Kg)	58.8±10.1	66.4±10.4
BMI(Kg/m ²)	21.7±3.0	22.6±3.4

表 4. 非競技者とアスリートとの各指標の比較

		非競技者	アスリート
感覚検査	振動感覚(音叉)	19.7	17.29*
	二点識別感覚	11.7	11.9
	表在感覚	16	15
筋力検査	biodes(利)60° /体重	243	287**
	筋持久力(J)	1620	2092**
	足背屈筋(平均)	33.4	46.2**
	足指(平均)	3.8	4.4
バランス検査	開眼片脚立位検査(平均)	74.2	88.8
	閉眼片脚立位検査(平均)	35.6	47.7
	IPS	1.85	1.83
	MIPS	0.7	0.82

*: p < 0.05 ** : p < 0.001

(対非競技者)

【結果】

弱視者における身体的属性について表 1 に示した。また年齢と各指標との関連性を表 2 に示した。年齢とバランス能力指標 (IPS, MIPS) の関連性を図 2 に示した。年齢と各指標において表在覚 $\rho = -0.798$ ($p < 0.01$), 振動覚 $\rho = -0.674$ ($p < 0.01$), 膝伸展筋力 $\rho = -0.576$ ($p < 0.01$), 膝伸展持久力 $\rho = -0.457$ ($p < 0.01$) に負の相関を示した。また、年齢とバランス評価各指標から、IPS $\rho = -0.466$ ($p < 0.01$), 開眼片脚立ち検査 $\rho = -0.514$ ($p < 0.01$), 閉眼片脚立ち検査 $\rho = -0.458$ ($p < 0.01$) の 3 指標において有意な負の相関を認めた。しかし年齢と MIPS には相関関係を認めなかった。

若年者における弱視者と視覚障害者アスリートの比較における身体的属性を表 3 に示した。また、バランス能力と理学療法評価における各指標の比較を表 4 に示した。

【考察】

本研究の結果から、弱視者におけるバランス能力と年齢および各評価指標の関連性において、バランス能力に影響する体性感覚 (振動覚・表在覚)、筋力 (膝伸展筋力・持久力) は、それぞれ年齢と負の相関関係 ($p < 0.01$) を認め、バランス能力指標である、開眼・閉眼片脚立位検査、IPS も年齢と有意な負の相関関係を認めた ($p < 0.01$)。また、バランス能力指標である開・閉眼片脚立位検査、IPS と感覚検査 (振動覚・表在覚)、筋力検査 (膝伸展筋力・膝伸展持久力) に有意な正の相関 ($p < 0.01$) を認めたことから片脚により姿勢を保持させる、開眼・閉眼片脚立位検査では、加齢に伴い低下した体性感覚および下肢筋力の影響を示す結果であり、片足立ちの保持時間は、加齢とともに低下する^{8,9)}とされる。先行研究を支持する結果であった。Bohannon¹⁵⁾ は、20-79 歳の対象者に片足立ちを行い、片足立ち時間が 30 秒未満である相対的な割合は、50-59 歳で 6% であるが、60-69 歳では 57%、70-79 歳で 90% 低下し、年齢と保持時間に有意な相関を認めると報告している。これらのことから、弱視者における本研究も加齢による片脚バランス能力の低下を認め、さらには体性感覚および下肢筋力と片脚バランス能力との関連が報告されている先行研究と同様の結果であった。

また、両足で行うバランス指標である IPS も同様に年齢とともに低下を認める結果が得られている。IPS は、開眼で行う検査であり、視力、視野障害、および眼振などの影響から周囲環境を正しく認識できない事が考えられるが、本研究の対象者は弱視者であり全盲者ではない。低視力の弱視者の多くは視野が狭く、そのため中心視に依存する傾向にあるとされている¹⁶⁾。この様な弱視者が周辺視の影響により自己の位置や運動に関する情報を得られなかったことは十分に考えられるが、開眼時のバランス制御には、健常者同様に少なからず視覚情報を認識し、前庭機能、体性感覚、下肢筋力に

より姿勢保持を行っている事が考えられた。また、小野ら¹⁷⁾ は、開眼・硬面上での重心移動能力は大腿四頭筋の筋厚と脚伸展力は正の相関を示し、その傾向は高齢者特有のものとしている。本研究の結果においても健常者同様に加齢に伴う膝伸展筋力の低下が重心移動能力に反映した結果であった。

しかし、特記すべきは IPS を閉眼・軟面上で行った MIPS において、視覚情報の遮断および足底からの感覚情報の入力制限された難易度の高いタスクにも関わらず、年齢との有意な相関関係を認めなかった。さらには MIPS とバランス関連因子である膝伸展筋力 ($\rho = 0.29$ $p < 0.05$)・膝伸展持久力 ($\rho = 0.346$ $p < 0.05$) に弱い相関を認めたものの、体性感覚検査 (振動覚・表在覚) と MIPS に有意な相関関係を認めなかった。

晴眼者の重心動揺は開眼時の方が閉眼時に比べて少なく姿勢は安定する事が報告されており¹⁾、それは姿勢保持に視覚が重要な役割を担っていることを示している。また、鈴木ら¹⁰⁾ は動的バランス能力および深部感覚は高齢になるほど低下し、動的バランスの深部感覚と視覚の複合的代償は高齢になるほど強まることを報告している。

しかし、本研究の結果から弱視者におけるバランス能力は閉眼・軟面によるタスクが加わったにも関わらず加齢に伴う有意な低下を認めず、晴眼者における、年齢とバランス能力の関連性と相違する能力が示され、これは視覚障害者特有のバランス特性を示す興味深い結果であった。さらに、閉眼時のバランス能力と身体機能との関連性においても、健常高齢者における下肢筋力と体性感覚の低下がバランスの不安定性につながるとされている先行研究と相違する結果であった。これらのことから、弱視者における閉眼時のバランス特性には何らかの視覚代償が働いている可能性が考えられ、それらは体性感覚および下肢筋力以外の前庭、迷路系といった体性感覚からの固有感覚情報が優位に影響している可能性が推定された。

さらに、我々は年齢による影響を除外するために、若年者を対象としたスポーツ競技者でない弱視者と視覚障害者アスリート (ロービジョンフットサル選手) との比較を行い、バランス能力と身体機能評価の比較からバランス関連因子を検討した。

その結果、バランス能力の関連因子である、振動感覚は非競技者が若干優れていたが、膝伸展筋力、膝伸展持久力、足関節背屈筋力においては、アスリートが優位に優れていた。しかし、バランス指標である開眼・閉眼片脚立ち検査、IPS、MIPS のすべての結果において両群間に有意な差を認めず、若年弱視者のバランス能力に体性感覚と下肢筋力の影響を認めない事が示された。小野ら¹⁷⁾ は開眼・硬面上での重心移動能力と大腿四頭筋の筋厚と脚伸展筋力の正の相関は高齢者特有のものとしているが、さらに若年者ではその傾向を認めない事を報告している。

今回の結果から、若年弱視者のバランス能力は

非競技者とアスリートにおいても、一定以上の下肢筋力があれば片脚バランス能力や重心移動能力を必要とするIPSおよびMIPSに有意な差を見出しにくいと考えられた。また、Deutschlander, A.¹⁸⁾は、移動をイメージする課題で、盲者は、前庭、体性感覚、一次運動領域が賦活され、晴眼者は海馬傍回や紡錘状回の活動が高まるとしている。これは、移動の際に視覚入力の補償として、盲者は晴眼者以上に前庭情報や体性感覚情報に依存していることを表しており、本研究の対象者においても、低視力を補うために、前庭、迷路系などの体性感覚からの固有感覚情報が優位に影響することで、一定のバランス能力が担保されている可能性が考えられた。

しかし、今回おこなった身体機能評価の各指標からは、弱視者のバランス能力に影響するバランス関連因子を特定するには至らなかった。直立時の前後方向の外乱刺激による全盲者の足圧応答が晴眼者に比べ早い¹⁹⁾との報告がある事などから、今後、新たな評価指標を用いて、競技の継続による縦断的観察を含め、さらに検討していく必要がある。

【結論】

弱視者における年齢とバランス能力との関連性および身体機能との調査において、閉眼時におけるバランス特性には体性感覚および下肢筋力以外の何らかの視覚的代償が働いている可能性が考えられ興味深い結果が得られた。また、若年弱視者のバランス能力は非競技者とアスリートにおいても、一定以上の下肢筋力があれば片脚バランス能力や重心移動能力を必要とするIPSおよびMIPSに有意な差を見出しにくく、それには低視力を補うために、体性感覚および下肢筋力以外のバランス関連因子により担保されている可能性が示唆される結果であった。本研究は視覚障害者分野における基礎的研究として十分に寄与できるものと考えられる。

参考文献

- 1) 朝長昌三：視覚情報による重心動揺の安定性 長崎大学教養部紀要。人文科学篇。1994, 35(1), p. 1-20
- 2) 中田英雄：重心動揺から見た視覚障害者の直立姿勢保持能力。姿勢研究2：41-48, 1982.
- 3) 中田英雄：視覚障害者の直立時重心動揺の特徴。心身障害者研究9(2)：1-7, 1985.
- 4) 伊藤裕之, 仲迫聡他：高度視覚障害者の重心動揺検査。Equilibrium Res Vol. 61(5)：394, 2002.
- 5) Choy NL, Brauer S, Nitz J: Changes in postural stability in women aged 20 to 80 years. J Gerontol A Biol Sci Med Sci,
- 6) Shaffer SW, Harrison AL: Aging of the somatosensory system: a translational

- perspective. Phys Ther, 2007, 87(2): 193-207.
- 7) Tokita T. (1995), Stabilometry- with Reference to Focal Diagnosis in Patients with Equilibrium Disturbances-. *Equilibrium Res*, 60(1), 44-55.
- 8) 平瀬達哉：高齢者におけるバランス能力と下肢筋力との関連性について。理学療法科学 23(5)：641-646, 2008
- 9) 笠原美千代, 山崎祐司, 青木詩子・他：高齢患者における片脚立位時間と膝伸展筋力の関係。体力科学, 2001, 50: 369-374.
- 10) 望月久, 峯島孝雄：重心動揺計を用いた姿勢安定度評価指標の信頼性および妥当性。理学療法科学。2000; 27: 199-203.
- 11) 鈴木康裕, 中田由夫, 他：重心動揺計を用いた動的バランス能力と年齢の関係。体力科学。2015; 64: 419-425.
- 12) 加藤秀典：日本理学療法学会大会 抄録集。Vol. 42 Suppl. No. 2
- 13) 文部科学省ホームページ 新体力テスト実施要項 (65~79歳対象)。
http://www.mext.go.jp/a_menu/sports/stamina/03040901.htm.
- 14) 財団法人中央労働災害防止協会ホームページ 転倒等災害リスク評価 セルフチェック実施マニュアル。
- 15) Bohannon, R. W., Larkin, P. A., Cook, A. C., Gear, J. and Singer, J. (1984). Decrease in timed balance test scores with aging. *Physical Therapy*, 64, 1067-1070
- 16) Fonda, G. (1965); Management of the patient with subnormal vision, C, V, Mosby Company, St. Louis
- 17) 小野晃, 琉子友男：高齢者における下肢筋力および筋力が動的バランスに及ぼす影響, 日本生理人類学会誌, 2001, 6: pp17-21.
- 18) Deutschlander, A., Stephan, T., Hufner, K., Wagner, J., Wiesmann, M., Strupp, M., Brandt, T. & Jahn, K.: Imaged locomotion in the blind: an fMRI study. *Neuroimage* 45(1) :122-128, 2009.
- 19) 中田英雄, 横山智恵他：盲人の直立姿勢保持能力と補償機能。バイオメカニズム学術講演会予稿集17：233-234, 1996.

¹筑波大学附属病院リハビリテーション部

²筑波大学大学院疾患制御医学専攻代謝内分泌内科

³筑波大学医学医療系臨床医学域

⁴和歌山県立医科大学みらい推進医療センター