

国際医療福祉大学審査学位論文(博士)

大学院医療福祉学研究科博士課程

高齢者のDownward Gaze中の姿勢動揺と
脊柱彎曲角との関連性の検討

Relationship between posture and balance and the angle of
spinal curvature during downward Gaze in the aging

2022年度

保健医療学専攻・作業療法学分野

作業療法分析学領域

学籍番号:20S3067 氏名:溝口 貴之

研究指導教員:後藤 純信 教授

副研究指導教員:池田 拓郎 講師

高齢者のDownward Gaze中の姿勢動揺と脊柱彎曲角との関連性の検討

要旨

[目的]本研究は、姿勢やバランスの制御に重要な視覚系の変化(視線の変化)が、加齢に伴う姿勢安定性の低下にどのように関連しているかを検討することである。

[被験者と方法]本研究は2つの実験を行った。実験1では、健常若年成人群(成人群、 32.9 ± 7.8 歳)と健常高齢者群(高齢者群、 73.4 ± 7.5 歳)各12名を対象に、開眼水平視または閉眼状態における重心動揺(足圧中心、COP)と脊柱彎曲角の関係を検討した。また、実験2では、成人群(31.6 ± 7.5 歳)と高齢者群(74.9 ± 7.8 歳)各15名のグループを対象に、COPと下方視距離の関係を検討した。

[結果]両実験を総合すると、高齢者群では各条件において、頭蓋椎角の減少と胸椎後彎角の増加がCOPの総軌跡長の増大に有意に関係することがわかった。さらに、高齢者群では171cm水平視あるいは171cm(目線距離は身長約1.5倍)下方視の視線距離でCOPの変動が有意に減少していた。

[結論]これらの結果は、健康な高齢者における視覚情報による安定した姿勢保持と関連している可能性があると思われた。

キーワード : 姿勢制御, 視覚情報, 下方視, 足圧中心, 加齢

Relationship between posture and balance and the angle of spinal curvature during downward Gaze in the aging

ABSTRACT

[Purpose] The purpose of this study was to examine how changes in the visual system, which are important for posture and balance control, contribute to declining stability as people age.

[Subjects and Methods] This study was performed two experiments. Each twelve healthy subjects' group of young and elderly was examined the relationship between center of pressure (COP) and spinal curvature angle during the horizontal viewing or closing eye conditions in Experiment 1. In addition, each fifteen healthy subjects' group of young and elderly was examined the relationship between center of pressure (COP) and distance of downward gazing view in Experiment 2.

[Results] Combining both experiments, significant increment of total moving distance of COP related with angles of vertebral and thoracic kyphosis was observed elderly group in each condition. In addition, significant decline of COP was observed in distance of 171cm downward gaze in elderly group.

[Conclusion] These results may be associated with the body's perceived position according to visual information in healthy elderly people.

[Key words]

posture and balance control, visual function, downward gaze, center of pressure, aging

目次

I. はじめに.....	1
1. 背景	
2. 目的	
3. 新規性と独自性	
4. 研究構成	
5. 研究倫理	
II. 研究 1.....	7
1. 対象と方法	
2. 結果	
3. 考察	
III. 研究 2.....	20
1. 対象と方法	
2. 結果	
3. 考察	
IV. 総合考察.....	33
V. 本研究の限界.....	34
VI. 研究総括.....	34
VII. 謝辞.....	35
VIII. 文献一覧.....	36

I. はじめに

重力が存在するこの地球環境の中で、ヒトはその重力を効率よく利用することにより直立姿勢や二足歩行を実現した。しかし、より活発に活動することによって、転倒は年齢のいかんを問わず、ある意味避けられない事象となっている。近年騒がれているように人類史上経験したことのない長寿となり、その延伸した寿命を健康で豊かに全うするためには、我々は転倒と真正面から向かい合わざるを得なくなっている。

1. 背景

1) 転倒予防の背景と歴史

現在よく話題となっている高齢者における転倒問題とその予防の重要性に関する知見は、主に 1980 年代以降の 40 年程度の間に蓄積されたものである。20 世紀初め、ヒトの平均寿命が 45～50 歳であったものが、科学技術の発達や感染症コントロールなどの公衆衛生面での改善により、先進国を中心に飛躍的に延伸した。日本においては、1900 年前後には 40 歳代であった寿命が、1950 年頃から急激に延長し、女性ではもはや 90 歳に迫ろうとしている¹⁾。寿命の延伸は、長く生きられるという良い側面を有する一方で、長寿に関連する新たな問題として認知症や転倒を引き起こさせている。特に、日本では少子化による人口構造の変化も加わり、長寿から派生する労働人口の減少やそれに伴う医療経済的負担の増大が重大な問題となり、長寿とともにいかに健康を長く維持し働けるかという健康労働寿命の延伸が社会的課題として認知されるようになってきている。

高齢者の転倒・予防の研究は、1948 年に Sheldon が「The Social Medicine of Old Age」²⁾ で高齢者の転倒の重要性を記載したことに端を発するとされる。その後、少しずつ高齢者の転倒に対する関心が増大し、1960 年代頃からはこの問題に対する疫学や背景因子などの報告が次第に増えている。1990 年代に入ると、大規模なメタアナリシスである FICSIT 試験 (1995)³⁾ に代表されるような質の高い研究が行われ、転倒予防の効果が認められるようになった。さらに、Cochrane library⁴⁾ のような系統的レビューでも転倒予防が扱われるようになった。日本では、1980 年代から転倒についての発表が散見されはじめ、1990 年代には、疫学的な調査が広く行われるようになった。また、1997 年に、日本で最初の「転倒予防教室」が東京厚生年金病院に誕生し、日本の取り組みの先駆的な役割を担った。2004 年には、転倒予防医学研究会「The Society of Fall Prevention Medicine」が発足したことによって全国規模で開催されていた転倒予防関連の事業や研究の情報を集約して意見や議論を交わす場ができ、2014 年からは、同研究会が日本転倒予防学会「The Japanese Society for Fall Prevention」となり、多職種による学術的研究やその知見に基づく実践の推進が行われるようになった。

2) 転倒による事故死

転倒は死亡にもつながる。転倒による死亡率は、高齢になるにつれて指数関数的に増大する⁵⁾。2021年の不慮の事故による死亡数を種類別の構成割合で見ると、窒息24.5%、転倒・転落19.6%、溺死19.0%、交通事故15.3%となっており、不慮の事故死の第2位になり、交通事故よりも多い割合で生じている。溺死の多くが浴槽内への転倒・転落で生じていることを考慮すると、実際には転倒・転落が占める割合が、かなりを占めると考えられる⁵⁾。年齢別では、若年や中年層では交通事故が最も多いが、年齢が高くなるにつれて窒息、転倒・転落、溺死の割合が増加し、65歳以上ではこれら3項目が交通事故を上回ると報告されている⁵⁾。また年毎に見ると、交通事故は一貫して減少しているが、転倒・転落は増加傾向にあり、高齢化傾向に沿うものと考えられる。

3) 転倒による骨折

転倒により死に至らなくても、転倒で生じる外傷、特に骨折は、身体機能に大きな影響を及ぼし、労働のみならず日常生活にも影響を与えるため深刻な問題となっている。骨折部位に関わらず、主要な原因として挙げられているのが転倒である⁶⁾。全転倒のうち5~10%に何らかの骨折が発生し、特に1~2%に独歩歩行に影響を与える大腿骨近位部骨折が発生するとされる⁶⁾。この大腿骨近位部骨折は、日常生活動作能力と生活の質を大きく低下させる。日本整形外科学会による全国調査では、大腿骨近位部骨折の発生原因の77.7%が転倒であり、90歳以上に限れば84.1%にのぼる⁷⁾。また、大腿骨近位部骨折は、転倒による事故死と同様に年齢とともに指数関数的に増大するとされている⁸⁾。したがって、高齢化が進む日本での大きな問題となっている。

4) 要介護の原因としての転倒

転倒により死に至らなくても、骨折などの外傷を経て、最終的に生活機能の低下を引き起こし、場合によっては要介護状態に陥ることは、転倒から生じる好ましくない事象としてリハビリテーション分野では良く知られている⁹⁾。また、転倒後に外傷がなくても転倒への恐怖感を示すようになり、自立歩行が可能であるにも関わらず歩行障害を来し、廃用性萎縮を引き起こす転倒後症候群も認知されてきている¹⁰⁾。この転倒後の心理的变化は、結果的に外傷を生じた場合と同様に生活機能の低下を引き起こす可能性があることから、原因となる転倒を予防することの意義はさらに大きいと思われる。日本において、転倒・骨折は脳血管障害、認知症や高齢による衰弱に続いて主要な要介護要因と報告されている¹¹⁾。要介護の主要な原因は、死亡の主要な原因⁵⁾とは異なる部分も多く、長寿を延伸させることと健康寿命を延伸させることが一致しない原因ともいえる。つまり、単なる長生きではなく、健康寿命を延伸するという点から、転倒・骨折を予防することが極めて重要である。

5) 転倒の疫学

地域高齢者における転倒発生率は、海外では3人に1人程度とされている^{12, 13)}。日本では、1990年代には1年間に20%前後が転倒を経験するとされ海外の報告に比してやや低かったが、2000年以降増加傾向にあるとされている^{14, 15)}。

過去の報告では、転倒の疫学を考える上で転倒の定義やそのモニター方法などの方法論も重要であるとされている^{16, 17)}。特に転倒の定義は、調査結果に大きく影響するため重要とされている。主要な転倒の定義としては、Kellogg International Work Groupにより提唱された定義¹⁸⁾とFICST研究で使われた定義「Unintentionally coming to rest on ground, floor, or other lower level; excludes coming to rest against furniture, wall, or other structure.」¹⁹⁾が有名である。前者は、失神を区別して除外しているが¹⁸⁾、後者では区別せずに含む¹⁹⁾ため、医学的判断を伴わない後者のほうが簡便で、近年では研究報告などで多く用いられている。

6) 転倒のリスク因子

転倒のリスク因子として、本人の特性に関連する内因性リスクと環境などの外因性リスクに大別できる。

内因性リスクとして代表的なものは、バランス障害(姿勢変化)、筋力低下、視力障害、服用薬剤の影響などさまざまである²⁰⁾。その他にもさまざまなリスク因子があり、『ヒトの身体システムに何らかの不具合が生じた場合には転倒リスクが上昇する』と言い換えることができる。つまり、二足という不安定な状態で立位・歩行を安全に行うヒトの精巧なシステムに、幾つかの変化や障害が積み重なったときに転倒が発生すると考えることができる。

一方、外因性リスクとしては、不適切な下足靴、床面の状態、照明の状態などの転倒しやすい環境、荷物の有無、焦った状況など転倒の発生しやすい状況などがあり、内因性のリスク因子と重なることでより転倒が発生しやすくなる。特に、転倒歴の有無の相対危険度は2~6程度と高いとされ、転倒歴を虚弱の程度を表す1つのバイオマーカーと捉えることも可能とも言われているが^{21, 22)}、転倒と身体姿勢の変化にともなう重心の変化や視線の変化と転倒の関連性についての研究はほとんどなされていない。

7) 高齢者の姿勢制御能力

転倒リスクの内因性リスクのうち、高齢者の姿勢制御能力の低下は、転倒に対する過度の恐怖感を引き起こすことで日常生活での活動量の低下を招くとされ、高齢者の約半数が転倒恐怖感を持ち、転倒体験が多いものほど強いとされている¹⁰⁾。転倒恐怖感を有する高齢者は、行動範囲や活動頻度の減少から活動量が低下し、生活の質の低下につながるため、近年では高齢者の転倒のみならず転倒恐怖感への対応が問題とされている¹⁰⁾。一方で、生活活動量は、高齢者の身体機能と関連が強いため、日常の身体活動量を高い

状態に保つことで、加齢に伴う身体機能の低下を予防できるとも考えられる。生活活動量が高い高齢者は転倒発生率が低下し、さらに転倒時の骨折リスクも減少する可能性もある。

加齢による姿勢制御能力の変化については数多く報告されており、高齢者では床面およびマット上での重心動揺²³⁾や重心投影点の移動距離²⁴⁾、片脚立位時間²⁵⁾などが低下するといわれている。姿勢制御は、静止立位保持のような静的な要素から、歩行や応用動作時の動的姿勢制御まで極めて広範囲にわたる²⁶⁾。姿勢制御能力の評価として、片脚立位保持や重心動揺などの安定した支持基底面での静的立位保持能力や、不安定板上の立位保持のような不安定支持基底面での立位保持能力、ファンクショナルリーチなどの支持基底面を固定した状況での随意運動能力、歩行動作のような支持基底面が移動する状況での随意運動能力あるいは外乱刺激が加わったときの外乱負荷応答能力など、多岐にわたる²⁷⁾。しかし、姿勢制御能力の中でも、どのような因子が転倒恐怖感や生活活動量と関連するのかを詳細に報告したものは少ない。

8) 高齢者の姿勢と視線

前述したように、加齢に伴い神経や筋肉の退行が生じ身体の形態や機能の低下が徐々に現れてくるため、安定した姿勢を保持するためには、神経や筋肉の退行現象に相応するように、無意識的に視覚に頼らざるを得なくなる。そのため高齢者における転倒発生は、小脳前庭系による身体バランス感覚のみならず、視覚刺激を処理する能力に依存する可能性が高い。高齢者の転倒は、視覚刺激に対応した身体保持ができないことによる身体のアンバランスが原因とする報告もある²⁸⁾。また、歩行する際に必要とされる能力のうち、高齢者では視覚に依存する割合が増加するとの報告もある²⁹⁾。江藤らは、高齢者の転倒がつまり可能性の高い狭い場所に物が多く配置されているような場所で起きるといふより、姿勢制御に関わる視覚的な枠組みが乏しいような場所(舗装された道路や広場、廊下など)で起きていたことを報告している³⁰⁾。この結果は、加齢による身体表面上の変化、つまり脊椎の間隙が狭くなり後彎姿勢(前屈姿勢)になることやすり足、小股歩行など高齢者特有の歩行特性と身体内面上の変化(小脳前庭系でのバランス感覚を補完しなから二足直立を保つ)を視覚能力でさらに補い、姿勢制御の安定化を図ろうとする高齢者ならではの姿勢保持能力が、物体と物体との距離感や物体と身体の距離感が不正確に認識されるか、あるいはその知覚と姿勢制御がスムーズに連動していなかったために転倒した可能性が考えられる。このように高齢者では、安定保持しようとする姿勢を不確かな視覚情報がさらに不安定化することで安定立位を保持するまでに時間がかかり転倒するリスクが増すと考えられる。Paulus³¹⁾、石崎ら³²⁾や江藤³³⁾は、視覚刺激の中でも動的刺激によりバランスの乱れが生じると報告している。さらに、歩行時では、若年者よりも高齢者が視覚的な注意を他に向けることによる影響を強く受けると

の報告もある³⁴⁾。このように、高齢者では、正確な視覚情報獲得が安全姿勢保持や歩行に欠かせない要素と考えられる。

視覚情報を得る手段に関連する要素の1つとして、視力や視野とともに視線が挙げられる。特に視線は、視力低下や注意力減衰による認知視野の低下をきたす高齢者にとって重要な機能で、姿勢安定や転倒予防に非常に関係すると思われる。視線や眼球運動に関する研究の多くは、探索歩行時のものが多く若年者や認知症者などの探索行動に関わる研究での報告が多い。伊藤ら³⁵⁾は、歩行時の視線変化と加齢の影響について研究し、若年者に比べて高齢者では、床や足元に視線をより長く向け床上での変化点に長い時間注目することと、下方を見る時間が長くなるにつれ視線の上下動が少なくなる、と報告している。また、Stoffregenら³⁶⁾は、高齢者の固視が近距離の場合には、遠距離を固視するよりも身体動揺が減少するという報告をしている。

このように、若年者や高齢者での動作時の姿勢保持、物品探索や転倒予防に関わる視覚情報の研究は多くなされているが、歩行前の静止時における姿勢保持にどのように視覚情報が関わっているかの研究は少ない。特に、高齢者では、前述のように前屈姿勢となることが多いため、静的視線および動的視線も若年者と異なる可能性がある。

高齢者の姿勢と固視に関する研究は調べる限り少なく、特に高齢者の半数近くで認められる身体動揺や視線とも関連する脊椎後彎変形と身体動揺や視線の関連性について研究した報告は散見されなかった。

2. 目的

本研究は、若年者に比べて高齢者で視覚的フィードバック機能(静止や移動に伴う視野変化を自己の体動によって補正する能力)が低下していることで、姿勢制御に負の影響を与え、それが転倒発生に影響しているという仮説に基づき、若年者と高齢者での視覚刺激を除去した場合(閉眼)と静的視覚刺激下(開眼)での重心動揺測定を行い、転倒発生に関わるとと思われる姿勢変化に関与する脊椎後彎変形、姿勢制御(重心動揺)と視線との関連性を検討することを目的とした。すなわち、高齢者での静止立脚時の脊椎後彎状態、視線の位置、姿勢制御能力の三つの関係を健常若年成人と比較検討することで、高齢者に対する歩行時の転倒要因除去と予防策を考案することを目指す。

3. 新規性と独自性

本研究の新規性と独自性は、健常若年成人と健常高齢者の身体的特徴(脊椎彎曲状態)と視線変化に焦点を絞り、姿勢制御(重心動揺)との関連性を検討することに着目した点であり、今までリハビリテーションでのバランス訓練で用いられていた水平視線を促す指導が適切かどうかを科学的に明らかにするとともに、姿勢を安定させるための固視させる指標との位置などを探る一助となると思われる。また、歩行時の目線の置き方など、

脊椎後彎による身体動揺による転倒につながるバランス不良に対する新たなリハビリテーション手法の提案が行える可能性がある。

4. 研究構成

本研究は、研究1と2から構成した。研究1では、健常若年成人と高齢者を対象として、加齢による水平視での立位姿勢動揺と脊椎彎曲角の関連性を検討した。研究2では、研究1の結果を基に、円背のある高齢者で姿勢保持ができ易いとされる下方視(downward gaze, DG)での視距離(視線を向ける床面位置)と立位姿勢保持との関連性を検討した。これらの結果によって、健常若年成人と高齢者での姿勢保持に関わる身体変化と視線の関連性や、円背のある高齢者に対する立位時や歩行時の転倒予防に向けた姿勢保持への指導内容の作成などの提案が行えると考ええる。

5. 研究倫理

本研究は、対象条件に合致する対象者に対し、口頭および書面にて同意をもとめ、同意を得られた者に対して行った。いずれの研究においても、実験中に転倒などの不慮の事故が生じないように室内環境に配慮して(照明など対象者周囲の環境)行った。得られた結果は、基本属性を含む個人情報に特定できないように、記号化して解析を行った。研究を通して、「個人情報の保護に関する法律」等の法令、その他の規則、倫理規定を順守し関係者のプライバシー保護や人権の保護に最大限の配慮を払った。尚、本研究は、国際医療福祉大学倫理審査委員会の承認(承認番号:20-Ith-058)を受けている。

II. 研究 1

1. 背景

1) 視覚と姿勢調節

前章で記載したように、立位姿勢をはじめとするヒト姿勢調節は、視覚系、前庭系および深部感覚を中心とした体性感覚系の情報を大脳基底核、赤核、小脳および大脳などの中枢神経系で統合することで安定させている。特に、視覚情報処理が中心であるヒトにとって、視覚による姿勢調節は重要な役割を担っている。特に、立位姿勢時に閉眼すると姿勢動揺の増大が認められること³⁷⁾から、立位姿勢時における調節でも視覚の影響が極めて大きいことがわかっている。前述のとおり、視覚情報が立位姿勢時の調節系へ与える影響は、Edwards³⁷⁾が開眼時に被験者の前で大きな振り子を振ると左右方向への身体動揺が増大することを明らかにしている。この現象は、ヒトの日常生活でも遊園地によくあるビックリハウスのような床面が水平であるにもかかわらず周囲の壁が斜めに傾いた部屋の中では直立することが非常に困難になることに関係している。つまり、視野の広範囲を占める風景やパターンがある一定の方向に動くとき姿勢調節系がその動きに強い影響を受けることを表していると考えられる。また、橋の上から視野一面に広がる川の流れを注視していると、橋が川の上流に向かって動き出すような感覚や、川の中に身体が吸い込まれるような感覚に陥る。この時生じる感覚を、自己運動感と呼んでおり、視覚 - 前庭干渉 (visual-vestibular interaction) の結果であると考えられている³⁸⁾。これらのことは、固視時や視運動刺激中の姿勢調節が、自己運動感と共に生じる身体の反射的反応によって調節されている可能性を示すものと考えられる。

2) 固視と姿勢の不安定性

前述のように、姿勢保持に関する視覚からの情報は、前庭および体性感覚の情報と一致すると考えられる。この一致するはずの情報が、なんらかの原因で両者の間に矛盾が生じると、姿勢調節系が一時的に混乱を生じて、ひどい場合には、吐き気などを伴う姿勢動揺を呈する。例えば、微小重力環境下での宇宙酔は、前庭系と体性感覚系の情報欠如による中枢系の混乱の結果とされており、姿勢調節の中枢系が視覚に依存した微小重力下での新しい姿勢調節機能を形成する過程で生じていると考えられている。固視させる状態は、一時的に視覚系を固定し、固視点に意識を集中させた状態で生じる立位姿勢の調節機能を検証しているとも考えられる。

固視状態での静止立位や歩行では、四肢、体幹、頭部や眼球などの部位毎の位置が平衡位置 (歩行の場合は周期的に変動する状態) に保持される。これらの保持は、機械力学系としての身体あるいは眼球を制御対象とした脳神経系による最も単純な運動制御系であると同時に、より複雑な身体運動の基盤と思われる。脳神経疾患に起因するこれらの運動機能の障害は、患者の ADL および QOL を著しく低下させる。また、固視や立位姿

姿勢保持の神経制御メカニズムは、制御対象に対する拮抗筋のバランス制御あるいはステイップネス制御の問題とも関連し、未だ不明な部分が多い。このように、姿勢保持機能の発現や障害メカニズムの解明は、現在でも、脳科学、臨床医学および工学分野での重要な研究課題と思われる。

3) 姿勢動揺と脊椎彎曲

立位姿勢を保持するためには、床面から約 1m の高さにある重心の鉛直方向への投影線点が足底支持基底面内に保持される必要がある^{39) 40)}。今まで記述した入力系のみならず、出力系である骨格筋やそれを支える骨関節などの骨格系の状態も大いに影響を与えると考えられる。姿勢保持に関与する出力系である骨格系の働きについては、股関節戦略(hip strategy)や足関節戦略(ankle strategy)と称されるように股関節や足関節の状態に注目されがちであるが、脊柱も姿勢アライメントにおいて他部位と密接な関連性を持っており、さらに重心にも直接的に関与することから、姿勢制御にとって特に重要な役割を果たすと考えられる。実際、腰痛を有する中高年女性で腰椎の前彎が保たれている患者では姿勢動揺が少ないとの報告⁴¹⁾や、健常若年者において腰椎の前彎が身体動揺の大きさと関連していたとの報告⁴²⁾もあり、脊柱のアライメントが姿勢制御に影響を及ぼすことが示唆されている⁴³⁾。

2. 目的

健常若年成人(成人群)と健常高齢者(高齢者群)を対象として、姿勢保持に関わる入力系と出力系の代表と考えられる視覚系と骨格系、特に今回は、加齢で大きく変化する脊椎彎曲に焦点を絞り、それらの相互関連性を検証することとした。そのため、実験では、通常立位姿勢を取る場合に指示する水平固視時と視覚情報を途絶させた閉眼時での立位姿勢に与える影響と脊椎彎曲角の関連性について、重心動揺計を用いて検討することとした。

3. 対象と方法

1) 対象

対象は、健常若年成人 12 名(男性：6 名、女性：6 名、平均年齢：32.9±7.8 歳、身長：159.9±4.8cm、体重：49.8±7.5kg)と健常高齢者 12 名(男性：1 名、女性：11 名、平均年齢：73.4±7.5 歳、身長：152.1±9.2cm、体重：56.7±11.8kg)。いずれの群も極端な視力低下(矯正レンズによって 1.0 以上に矯正できない)や神経学、耳鼻学および整形外科的に障害がない者とした。

2) 実験課題

対象者には、開眼条件とアイマスク着用での閉眼で各 60 秒間の静止立位をとらせた。両条件とも、両上肢を体側とし、両踵を合わせ、つま先を 30° 外転位とした。開眼条件では、固視点の大きさが視角 1° (1 辺 3cm の正方形の黒色固視点) となるようにし、レーザー距離計 (Laser Distance Meter T201 ; atolla 社製) とレーザー墨出し器 (Klearlook 社製) を用いて水平垂直軸を算出し、171cm 眼前にある固視点を注視させた。この 171cm は、健常若年成人(平均身長 160cm)で行った水平視での固視点距離と重心動揺の結果で最も重心が安定している距離であったため、今回用いることとした(図 1 参照)。実験では、各群 171cm の水平固視を行わせた際の脊柱彎曲角(胸椎後彎角、腰椎前彎角、全体傾斜角)、頭蓋椎角および重心動揺の指標として足圧中心(center of pressure : COP)を測定した。

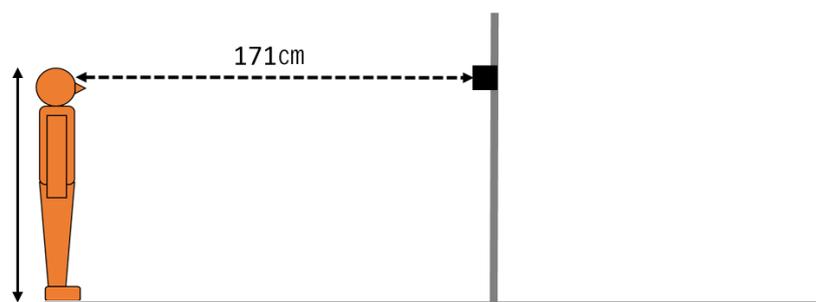


図 1 実験条件

開眼時も閉眼時も眼位を地面に水平方向に保つ姿勢にさせ、
開眼時には、前方 171cm の固視点(視角 1°)を固視するように指示した。

3) 脊柱彎曲角の測定 (図 2 参照)

脊柱彎曲角は、脊柱計測分析器 (Spinal Mouse ; (Idiag AG, Switzerland) を用いて測定した⁴⁴⁾⁴⁵⁾。Spinal Mouse を第 1 頸椎から第 1 仙椎まで背側部の体表を頭側から尾側まで移動させ、コンピューターに取り込まれたデータから胸椎後彎角(第 1 胸椎から第 12 胸椎の上下椎体間がなす角度の総和)、腰椎前彎角(第 1 腰椎から第 5 腰椎の上下椎体間がなす角度の総和)ならびに全体傾斜角(第 1 胸椎と第 1 仙椎を結ぶ直線と床面の鉛直線となす角度)を算出した(図 2)。胸椎後彎角の増加は円背を、腰椎前彎角の増加は腰椎前彎の増強を、全体傾斜角の増加は体幹の前屈をあらわしている。各 2 回ずつの測定を行い、その平均値を代表値とした。経験年数 15 年目の作業療法

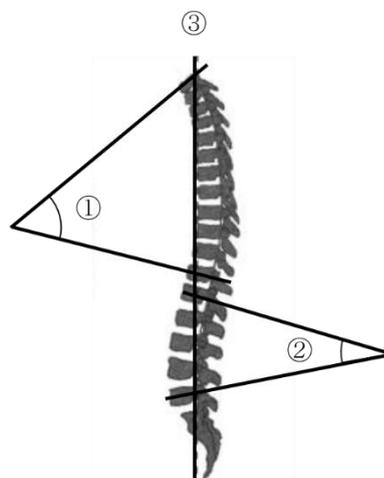


図 2 脊柱彎曲角の計測方法

Spinal Mouse を用いて胸椎後彎角(①)、腰椎前彎角(②)を測定し、全体傾斜角(③)を算出。

Imagama S, et al. 2013 の図を改変引用⁴⁵⁾

士がすべての測定を実施した。尚、腰椎前彎角は角度が+側になるほど、彎曲が小さくなるように設定した。

4) 頭蓋椎角 (図3 参照)

頭蓋椎角の撮影には、解像度 3648×2736 ピクセルのデジタルカメラ (Canon IXY190RE) を使用した。カメラを重心動揺計の中心から側方 400 cm に離して配置し、水平器にて三脚の水平を確認して設置した。また、撮影時には天井から錘のついた紐を垂らし、静止面の垂線を確認できるように配置した。この撮影したデジタル画像をパーソナルコンピュータに取り込み、Image J (Power Shot SX740HS、キャノン株式会社、日本) の角度測定ツールを使用して頭蓋椎角を算出した。頭蓋椎角は、第 7 頸椎を通る床との水平線と耳孔と第 7 頸椎を結ぶ線とをなす角度 (図 3) とした⁴⁶⁾。頭蓋椎角が大きい場合、頭部の直立位をあらわしている。過去の先行研究では、立位での頭蓋椎角は頭部の前傾の指標になると報告されている⁴⁷⁾。尚、頭蓋椎角は角度が小さいほど頭部の屈曲が強くなるように設定した。



図 3 頭蓋椎角の算出方法

第 7 頸椎を通り床との水平線と耳孔と第 7 頸椎を結ぶ線とをなす角度を頭蓋椎角とし、角度が小さくなるほど頸部前屈が強くなる。

5) 重心動揺検査

COP の測定には、携帯型重心動揺計 (GRAVICORDER GS-7、アニマ株式会社) を用いた。閉眼あるいは開眼における立位姿勢保持中の COP 動揺をサンプリング周波数 20Hz で 60 秒間記録した。記録の開始は、測定開始の合図 5 秒後とした。測定項目は、総軌跡長、単位軌跡長、外周面積、X 軸および Y 軸方向の動揺平均中心変位とした。尚、X

方向動揺平均中心変位は、COP の左右方向の動揺の平均の位置を示し、Y 方向動揺平均中心変位は COP の前後方向の動揺の平均の位置を示す。

6) 統計解析の方法

統計処理は、COP、脊椎彎曲角ならびに頭蓋椎角の各測定値の正規性を Shapiro-Wilk 検定で確認した後に行なった。COP の測定値は、視覚条件(開閉眼)と年齢条件(成人群と高齢者群)に対して二元配置分散分析を行い、交互作用あるいは主効果の見られた要因の水準間でその後の検定として対応のある t 検定で分析した。脊椎彎曲角は、級内相関係数 ICC(1, 1)を求め、検者内信頼性を確認した。その後、成人群と高齢者群との 2 群間の比較として、対応のない t 検定を行った。また、成人群と高齢者群における COP と脊椎彎曲角および頭蓋椎角の関連性を Pearson の相関分析にて検討した。なお、統計解析には IBM 社製 SPSS Statistics Version 26.0 を用い、有意水準を 5%とした。

4. 結果

本研究では、脊椎彎曲に関わる全ての計測と評価を検者 1 名で行ったため、まずその信頼性を確認した。その結果、表 1 のように、頭蓋椎角、胸椎後彎角、腰椎前彎角ならびに全体傾斜角の評価者内信頼性 ICC(1, 1)は、全ての項目で級内相関係数も高く、デジタルカメラと spinal mouse を使用した脊椎彎曲測定の信頼性が保てると判断した。

1) 水平視開閉眼条件下での重心動揺変化

COP における視覚条件と対象群間での二元配置分散分析の結果を表 2 に示す。その結果、COP、視覚条件と対象群間での主効果が認められた。そのため、交互作用を検討したところ、COP の測定項目の中で総軌跡長と単位軌跡長の項目で、対象群間および視覚条件で有意差を認めた(表 2)(総軌跡長：対象群； $F=11.562$, $p<0.01$, 視覚条件； $F=5.796$, $p<0.02$)；(単位軌跡長：対象群； $F=11.380$, $p<0.01$, 視覚条件； $F=5.701$, $p<0.02$)。一方で、外周面積、X 方向および Y 方向の動揺平均中心変位と視覚条件や年齢条件とでは有意な交互作用は認めなかった(表 2)。

さらに追加解析として、対象群間での視覚条件による差、脊椎変形による差を、多重比較検定を用いて個別に検討した(図 4)。その結果、まず各群間での開閉眼による重心動揺変化は、成人群および高齢者群での閉眼時の総軌跡長と単位軌跡長は、開眼時に比べて有意に増加した(総軌跡長：成人群； $p<0.01$, 高齢者群； $p<0.03$)；(単位軌跡長：成人群； $p<0.01$, 高齢者群； $p<0.03$)。また、高齢者群の総軌跡長と単位軌跡長は、開眼および閉眼とも成人群に比べて有意に増加していた(総軌跡長：閉眼； $p<0.04$, 開眼； $p<0.02$)；(単位軌跡長：閉眼； $p<0.02$, 開眼； $p<0.03$)。一方、外周面積、X および Y 方向の動揺平均中心変位では個人差が大きく有意な差は認めなかったが、外周面積と X 方向動揺平均中心変位が、閉眼時も開眼時も高齢者群で増加する傾向が認めら

れた($p=0.08$)。また、高齢者群では、開眼時に Y 方向動揺平均中心変位が成人群に比べて低下傾向(前のめりになる)が見られた。

2) 脊椎彎曲と開閉眼による重心動揺変化の関連性

群別での脊椎彎曲の相違を、対応のない t 検定で検討したところ、高齢者群の胸椎後彎角、腰椎前彎角ならびに全体傾斜角が、成人群に比べて有意に増加し($p<0.01$)、頭蓋椎角は有意に減少していた($p<0.01$) (表 3)。つまり、加齢に伴い一般的に円背が強くなり、それに伴い頭部も前方に突き出すような体勢になることが示唆された。

成人群と高齢者群それぞれで、COP と脊椎彎曲角および頭蓋椎角の関連性を Pearson の相関分析で検討した。その結果、成人群では、COP の変化と脊椎彎曲角のいずれの項目でも有意な相関は認めなかった($p>0.05$) (表 4)。このことは、ある程度の加齢であれば、他の姿勢安定機能(前庭・小脳系や体性感覚系など)によって、加齢に伴う脊椎の変形を補完して姿勢を安定させていることを示している。一方で、高齢者群では、総軌跡長、単位軌跡長と外周面積で、頭蓋椎角および胸椎後彎角に有意な相関が認められた(総軌跡長: 頭蓋椎角; $r=-0.85$, $p<0.01$, 胸椎後彎角; $r=0.79$, $p<0.01$); (単位軌跡長: 頭蓋椎角; $r=-0.84$, $p<0.01$, 胸椎後彎角; $r=0.80$, $p<0.01$); (外周面積: 頭蓋椎角; $r=-0.64$, $p=0.03$, 胸椎後彎角; $r=0.64$, $p=0.03$) (表 4)。

1) と 2) の結果より、高齢者群では、総軌跡長、単位軌跡長と外周面積で、頭蓋椎角および胸椎後彎角に有意な相関が認められた。つまり、高齢になると、体勢変化を補完する機能の低下によって、円背と頭部の前方への突出による重心変化を補完できなくなり、重心動揺の要因になっていることが示唆できる。

表1 頭蓋椎角と脊椎彎曲角の検者内信頼性

	級内相関 ICC(1, 1)	95%信頼区間		p 値
		下限	上限	
頭蓋椎角	0.972	0.922	0.990	<0.01**
胸椎後彎角	0.934	0.820	0.977	<0.01**
腰椎前彎角	0.723	0.365	0.897	<0.01**
全体傾斜角	0.816	0.546	0.933	<0.01**

頭蓋椎角と脊椎彎曲角の検者内信頼性は、有意な信頼性があった。

(** p<0.01; 平均±標準偏差)

表 2. COP に対する二元配置分散分析

	視覚 条件	対象群		対象群		視覚条件		対象群×視覚条件	
		成人群	高齢者群	F 値	p 値	F 値	p 値	F 値	p 値
総軌跡長	閉眼	68.0 ± 21.7	100.0 ± 41.0	11.56	<0.01**	5.80	0.02*	0.06	0.02*
	開眼	49.1 ± 13.9	76.7 ± 32.2						
単位軌跡長	閉眼	1.1 ± 0.4	1.7 ± 0.7	11.38	<0.01**	5.70	0.02*	0.11	0.02*
	開眼	0.8 ± 0.2	1.3 ± 0.5						
外周面積	閉眼	2.4 ± 1.4	3.2 ± 2.8	1.31	0.26	2.40	0.13	0.16	0.70
	開眼	1.8 ± 1.0	2.2 ± 0.8						
X 方向平均 中心変位	閉眼	0.1 ± 1.1	0.4 ± 0.9	0.46	0.50	0.42	0.52	0.24	0.62
	開眼	0.0 ± 0.7	0.1 ± 0.8						
Y 方向平均 中心変位	閉眼	-2.2 ± 1.1	-2.5 ± 1.1	0.62	0.44	0.01	0.91	2.71	0.11
	開眼	-2.8 ± 1.2	-1.9 ± 1.3						

総軌跡長と単位軌跡長では、対象群および視覚条件で有意な主効果を示し、交互作用があった。

(** p<0.01, *p<0.05; 平均±標準偏差, 測定値の単位:外周面積 cm², その他 cm)

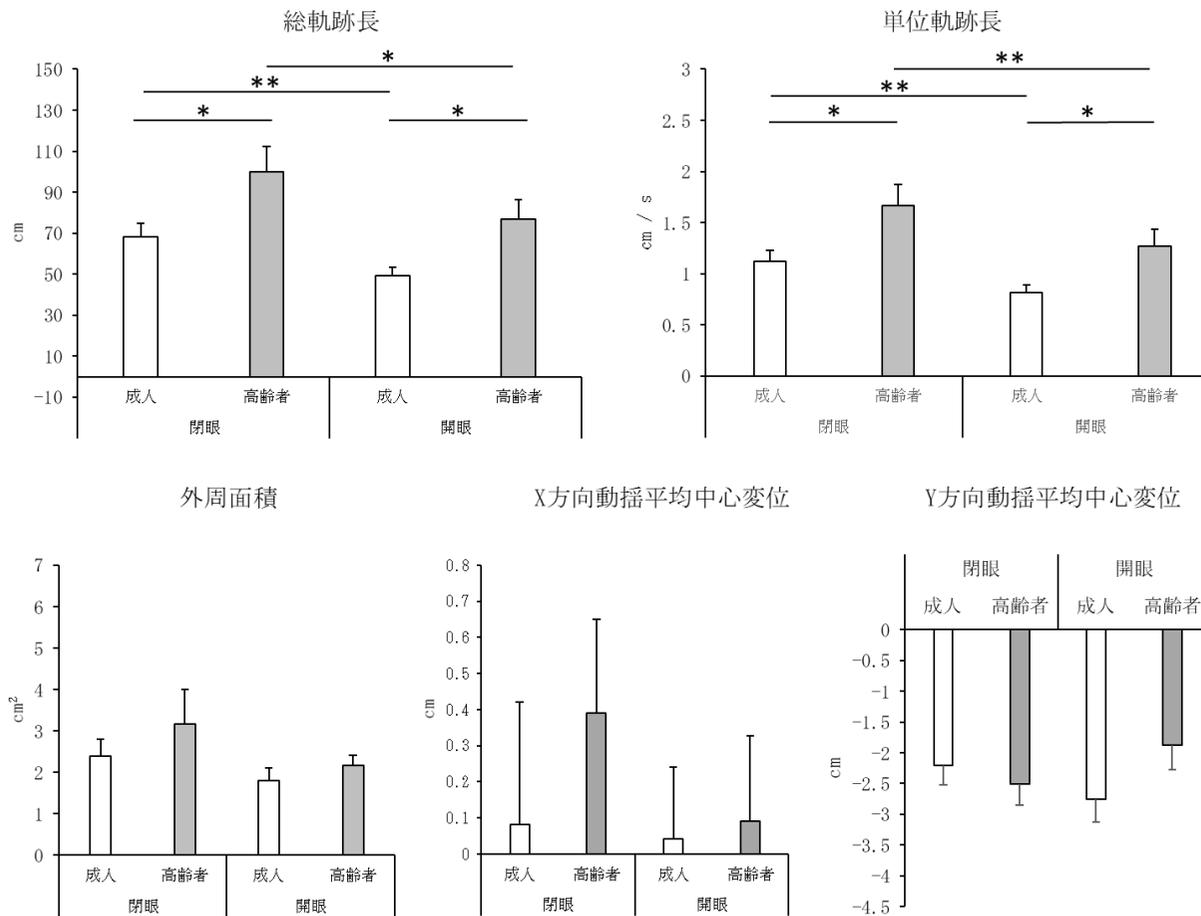


図 4. COP に対する多重比較検定

各群間での開閉眼時の COP の変化を示す。総軌跡長と単位軌跡長で、開閉眼に関わらず高齢者群が成人群に比べて有意に COP が変動している。また、両群ともに開眼と閉眼での COP 変動が有意である。(* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$)

表 3. 頭蓋椎角と脊椎彎曲角における成人群と高齢者群との相違

	成人群	高齢者群	p 値
頭蓋椎角	54.4 ± 4.4	44.1 ± 9.0	<0.01**
胸椎後彎角	20.7 ± 9.1	41.6 ± 13.6	<0.01**
腰椎前彎角	-22.8 ± 8.4	-9.9 ± 9.4	<0.01**
全体傾斜角	1.8 ± 2.7	6.5 ± 2.5	<0.01**

高齢者群は、成人群に比べて頭蓋椎角が有意に低値を示し、胸椎後彎角、腰椎前彎角ならびに全体傾斜角が増加した。

(**p<0.01; 平均±標準偏差, 測定値の単位:度)

表 4. COP と頭蓋椎角および脊椎彎曲角との関連性

	頭蓋椎角				胸椎後彎角				腰椎前彎角				全体傾斜角			
	成人群		高齢者群		成人群		高齢者群		成人群		高齢者群		成人群		高齢者群	
	r 値	p 値	r 値	p 値	r 値	p 値	r 値	p 値	r 値	p 値	r 値	p 値	r 値	p 値	r 値	p 値
総軌跡長	0.17	0.60	-0.85	<0.01**	0.14	0.67	0.79	<0.01**	0.08	0.81	0.10	0.76	-0.53	0.08	-0.54	0.07
単位軌跡長	0.17	0.60	-0.84	<0.01**	0.14	0.67	0.80	<0.01**	0.08	0.82	0.09	0.78	-0.52	0.08	0.25	0.43
外周面積	0.17	0.61	-0.64	0.03*	0.28	0.38	0.64	0.02*	0.12	0.72	0.26	0.41	-0.41	0.19	0.24	0.44
X 方向動揺 平均中心変位	-0.03	0.93	0.26	0.41	0.55	0.07	0.01	0.97	0.13	0.68	0.20	0.54	-0.33	0.30	0.11	0.74
Y 方向動揺 平均中心変位	-0.04	0.89	0.22	0.49	-0.23	0.47	-0.04	0.90	-0.07	0.83	0.52	0.08	0.18	0.57	-0.02	0.96

高齢者群では、頭蓋椎角および胸椎前彎角と総軌跡長および単位軌跡長とが強い負の相関を、外周面積とが相関を示した。

(**p<0.01, *p<0.05, 強い相関：r=1.0~0.7, 相関：r=0.7~0.4, 測定値の単位：外周面積 cm², その他 cm)

5. 考察

本研究結果をまとめると、水平視 171cm では、① 成人群と高齢者群で、ともに開眼時に比べて閉眼時に重心動揺変化、特に COP の総軌跡長や単位軌跡長が増加し、平均増加量が成人に比べて高齢者で有意に大きい値を示していたこと、② 高齢者は成人に比べて有意に脊椎全体の変形が進み体勢として頭部が前屈し円背が強くなるような前屈姿勢となり、その姿勢が重心動揺の変化に影響していること、がわかった。過去の年齢別重心動揺変化に関する報告²⁴⁾²⁶⁾⁴⁸⁾では 60 歳以上で大きく変化するとされ、本研究結果も高齢者群の平均年齢が約 73 歳であり、この報告を支持する結果であった。そのうえで、重心が不安定となる大きな要因の 1 つとして、脊椎の変形に伴う重心位置の変化、特に頭部と胸部の変化(頭蓋椎角が減少し頭部が前屈しかつ胸椎が後彎することで重心位置が身体の前方に変位すること)、が挙げられることがわかった。

1) 重心動揺と開閉眼

本研究では、以前の報告⁴⁸⁾と同様に、高齢者群において成人群に比べて重心動揺軌跡長が増加したが、外周面積については高齢者群でのばらつきが大きかったため統計的に有意な変化は認めなかったものの増加傾向は認められ、さらに高齢者群では、閉眼時により重心変動が増大する結果となった。このことは、高齢者では直立閉眼時に重心動揺を最小限にしようとする小脳や前庭系および体性感覚系などの視覚系以外の入力系の総合的な機能が若年者に比べて低下していることにより、個々の機能への補完機能や中枢での情報統合能力が低下するためと考えられる。小児の COP 総軌跡長の閉眼時と開眼時の比がほぼ一定であったとする平林らの報告⁴⁹⁾と比較して高齢者の身体機能の特徴を考えるうえで興味ある結果を再現できたと思われる。さらに、支持面積が小さくなれば身体動揺量(動揺面積)が増加し加齢の影響を受けやすくなるとの報告⁴⁸⁾もあり、本研究結果を踏まえると、高齢者では脊椎の変性による体幹の前屈状態による負荷状態が起り、重心動揺の増大を来したとの考え方もできる。

本研究では左右や前後方向への重心動揺に有意差は認められなかったが、以前の報告⁴⁸⁾では、若年者群で左右方向の重心動揺が開眼時で小さく閉眼時に大きくなり前後方向は大きく閉眼時と差がなく、高齢者群は若年者群と比べると開眼時には前後方向の変化が少なく左右方向で増加し、閉眼時には前後方向も増大するとされている。この現象を脊椎の変形と組み合わせて考えると、多くの高齢者では脊椎全体の前彎が、加齢に伴う椎体変性が誘因となって長時間かけて起こるために、開眼時には視覚情報による体勢の補完(体勢維持における視覚への依存が増すことによる)がなされることで前後方向への重心の維持への対応(慣れ)ができている可能性が考えられる。一方で、左右方向における重心の維持には前述した視覚機能以外の機能の関与、特に小脳・前庭系障害、の関与が大きい可能性があり、その障害の多くが突発性誘因(血管障害や内耳突発性疾患など)で起こるため、突然の変化に身体の重心安定のための対応が整わずに時間的変動が大きくなる可能性を表していると思われる。

2) 重心動揺と脊椎変形

本研究では、COP の重心動揺量を反映するとされる単位軌跡長や外周面積と脊椎の変形に相関関係を認めた。この結果は、姿勢制御システムによって達成された静止立位の安定性が脊椎の前後方向への変形に影響することを示した結果と考える。

ヒトの身体構造は、重量のある頭部が一番高い部位に位置し、これを2本足で身体全体を支えているため、物理的に不安定である。この直立姿勢を維持するためには、床面から約1mの高さにある重心の鉛直方向への投影線点が足底支持基底面内に保持される必要があり、視覚系、前庭系、体性感覚系とその情報を統合する中枢の入力系と、出力系である骨格筋やそれを支える脊椎アライメントが深く関与している。一般に健常若年者では腰椎前彎がCOPに大きく影響を与えるとされ、また三森らの報告⁵⁰⁾によると、若年者での脊椎側彎例でも可動性が大きいとされる腰椎に変形がある腰椎カーブ群でCOP測定指標の一部と脊椎変形の大きさを表すCobb角との間に正の相関を認め、変動の少ない胸椎変形よりも変形の大きさによる影響を受けやすいとしている。つまり、前後方向の脊椎変形に関しても左右方向の脊椎変形に関しても、胸椎変形よりも腰椎変形が重心動揺に大きく関わっているとの報告で、本研究結果とは異なる結果であった。この結果の相違は、加齢によって生じる基本的な胸腰椎の彎曲の影響の加味によるものと考えられる。一般的に、加齢により生ずる基本的な矢状面脊柱彎曲変化は腰椎前彎の減少が原因とされている。長年の農業や酪農に従事した例では、腰椎の多椎間板変性による前彎減少が著しく、しばしば腰椎後彎化にいたる姿勢異常を呈する。一方で、脊椎変性を起こすもう1つの因子として骨粗鬆症があげられ、骨粗鬆症によって椎体圧迫骨折を起こす部位として胸椎や胸腰椎移行部が挙げられ身体後彎変形を惹起している。椎間板変性、椎体変形のいずれかが主因であったとしても、脊柱に後彎変形が生ずると直立位においてすでに腰部伸筋の高い活動がみられ、体幹重心が脊椎後彎化によって前方に移動して骨盤が後傾し(円背)、そのため股関節、膝関節が屈曲位となると推察できる。さらに、立位で既に腰部伸筋に高い筋活動が継続することで筋疲労が生じやすい条件となり、転倒の要因になることが考えられる。つまり、円背を呈した高齢者に対し、通常立位姿勢と努力性体幹伸展時の立位姿勢を調査した報告⁵¹⁾では、努力性体幹伸展時姿勢によって、背筋群・大臀筋・大腿四頭筋・下腿三頭筋の筋活動が増大して疲労感を強く訴えたとしており、円背者に歩行時に胸を張って歩かせることが、筋疲労を増大させて歩行距離を低下させ、歩行の安定性を低下させることで転倒を引き起こす可能性を示している。

本結果とこれらの報告をまとめると、健常高齢者の重心動揺に脊椎全体の後彎変形、特に頸椎や胸椎(上位腰椎を含む)変形、が強く関与していることや、高齢者では特にその姿勢安定に視覚情報に強く依存していることがわかった。

Ⅲ. 研究 2

1. 背景

研究 1 の結果では、脊椎全体の傾斜角と重心動揺に相関があり、特に高齢者では頭蓋椎角と胸椎後彎角の増大が姿勢保持の不安定化をもたらす結果となったが、一方で今まで報告されていた腰椎の変形と姿勢動揺との関連性は明らかでなかった。また、姿勢安定に視覚情報が深く関与することが示唆された。このような結果をもとに考えると、高齢者では円背を呈するため、健常若年成人と異なり、水平視自体が立位時や歩行時での通常の視線と異なることで姿勢の不安定性をもたらせた可能性が否定できない。前述のように、伊藤ら³⁵⁾が、若年者に比べて高齢者で床や足元に視線をより長く向け床上での変化点に長い時間注目することや下方を見る時間が長くなるにつれ視線の上下動が少なくなるとの報告、Stoffregen ら³⁶⁾の高齢者の固視が近距離の場合に身体動揺が減少するという報告を考えると、通常の視線が床面に向けられることで姿勢を安定させていることが想像できる。

立位時の姿勢制御には静的および動的バランス能力があり、この両様式ともに姿勢を維持するためには視覚、前庭覚、体性感覚からの情報入力が必要であることは、前述のとおりである。その中でも、研究 1 の結果より、直立姿勢時に閉眼をさせると健常若年成人でも重心動揺の揺れが開眼時に比べ増大傾向になることから、視覚入力が姿勢制御の上で重要な役割を果たしていることが明らかである。また、視覚は聴覚と同様に身体から離れた外的環境情報を得られる感覚であるため、他の感覚と本質的に異なる性質も持っていると考えられる。そのため、視覚はヒトとその周辺に関する位置関係を認識し、その重要な感覚情報を中枢システムへ伝え姿勢を維持することができる。一方で、加齢により視覚機能が低下した高齢者では、複雑な環境下で空間における身体の位置を正しく検出できないこと⁴³⁾から、身体運動を阻害し転倒に起因すると考えられる。つまり、高齢者の視覚、特に脊椎彎曲による下方視への移行と姿勢制御に焦点を当て、加齢による視線変化が高齢者のバランス能力に及ぼす影響を明らかにすることは、転倒予防策の考案につながる重要な一助になると思われる。

2. 目的

健常若年成人と高齢者を対象として、高齢者で姿勢保持ができ易いとされる視距離を変えた下方視(downward gaze, DG)中の立位姿勢保持中の重心動揺変化と脊椎彎曲角との関連性を、重心動揺計を用いて検討することとした。

3. 対象と方法

1) 対象

対象は、健常若年成人 15 名(男性：6 名、女性：9 名、平均年齢：31.6±7.5 歳、身長：160.4±4.7cm、体重：50.5±7.6kg)と健常高齢者 15 名(男性：1 名、女性：14 名、平均年齢：74.9±7.8 歳、身長：150.1±9.3cm、体重：55.5±10.8kg)。いずれの群も

極端な視力低下(矯正レンズによって 1.0 以上に矯正できない)や神経学、耳鼻学および整形外科学的に障害がない者とした。

2) 実験課題

対象者には、開眼にて DG をさせ、各 60 秒間の静止立位にて、両上肢を体側、両踵を合わせ、つま先を 30° 外転位をとらせた。固視点の大きさは、視角 1° となるようにし、レーザー距離計 (Laser Distance Meter T201 ; atolla 社製) とレーザー墨出し器

(Klearlook 社製) を用いて、水平距離 57cm(近距離:身長とほぼ同等の視線距離、目線からの距離:身長 160cm は約 171cm、身長 150cm は 160cm)、171cm(中距離:身長約 1.5 倍の視線距離、目線からの距離:身長 160cm は約 235cm、身長 150cm は 227cm)ならびに 285cm(遠距離:身長約 2 倍の視線距離、目線からの距離:身長 160cm は約 326cm、身長 150cm は 322cm)眼前にある固視点を注視させた(図 5)。なお、被験者から固視点までの目線距離は、三角関数(被験者から固視点までの距離と被験者の眼の高さから算出)を利用して、各対象者の身長からの固視点までの距離を補正した。測定項目は、脊柱彎曲角(胸椎後彎角、腰椎前彎角、全体傾斜角)、頭蓋椎角および COP とした。

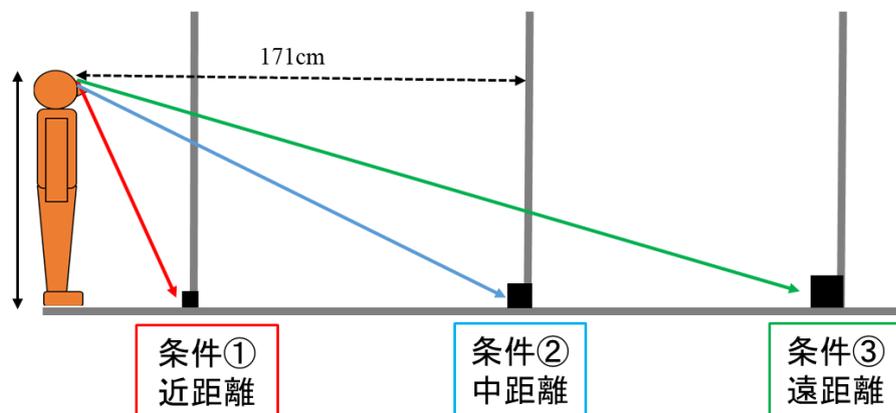


図 5. 実験条件

高齢者での通常立位・歩行時の視線位置を考慮し、水平距離で 3 条件を設定し、それぞれ視角 1° の固視点を固視するように指示した。

3) 脊柱彎曲角の測定

脊柱彎曲角は、脊柱計測分析器 (Spinal Mouse ; Idiag AG, Switzerland) を用いて測定した⁴⁴⁾⁴⁵⁾。Spinal Mouse を第 1 頸椎から第 1 仙椎まで背側部の体表を頭側から尾側まで移動させ、コンピューターに取り込まれたデータから胸椎後彎角(第 1 胸椎から第 12 胸椎の上下椎体間がなす角度の総和)、腰椎前彎角(第 1 腰椎から第 5 腰椎の上下椎体間がなす角度の総和)ならびに全体傾斜角(第 1 胸椎と第 1 仙椎を結ぶ直線と床面の鉛直線となす角度)を算出した。胸椎後彎角の増加は円背を、腰椎前彎角の増加は腰椎前彎の増強を、全体傾斜角の増加は体幹の前屈を表している。各 2 回ずつ測定を行い、その平均値を代表値とした。経験年数 15 年目の作業療法士がすべての測定を実施した。

4) 頭蓋椎角

頭蓋椎角の撮影には、解像度 3648×2736 ピクセルのデジタルカメラ (Canon IXY190RE) を使用した。カメラを重心動揺計の中心から側方に 400 cm 離して配置し、水平器にて三脚の水平を確認して設置した。また、撮影時には天井から錘のついた紐を垂らし、静止面の垂線を確認できるように配置した。この撮影したデジタル画像をパーソナルコンピュータに取り込み、Image J (Power Shot SX740HS、キャノン株式会社、日本) の角度測定ツールを使用して頭蓋椎角を算出した。頭蓋椎角は、第 7 頸椎を通る床との水平線と耳孔と第 7 頸椎を結ぶ線とをなす角度とした⁴⁶⁾。頭蓋椎角が大きい場合、頭部の直立位をあらわしている。過去の先行研究では、立位での頭蓋椎角は頭部の前傾の指標になると報告されている⁴⁷⁾。

5) 重心動揺検査

COP の測定には、携帯型重心動揺計 (GRAVICORDER GS-7、アニマ株式会社) を用いた。開眼での立位姿勢保持中の COP 動揺をサンプリング周波数 20Hz で 60 秒間記録した。記録の開始は、測定開始の合図後 5 秒後とした。測定項目は、総軌跡長、単位軌跡長、外周面積、X 軸および Y 軸方向の動揺平均中心変位とした。

6) 統計解析の方法

統計処理は、COP、脊椎彎曲角ならびに頭蓋椎角の各測定値の正規性を Shapiro-Wilk 検定で確認した後に行なった。COP と脊椎彎曲角の測定値は、年齢条件 (成人と高齢者) と距離条件 (57cm、171cm および 285cm) に対して反復測定二元配置分散分析をし、主効果のあった要因の水準間に対して、その後の検定として Bonferroni 補正による多重比較検定を行った。成人群と高齢群における DG 中の各距離での COP と脊椎彎曲角および頭蓋椎角の関連性を Pearson の相関分析にて検討した。なお、統計解析には IBM 社製 SPSS Statistics Version 26.0 を使い、有意水準を 5% とした。

4. 結果

成人群と高齢者群での固視点距離による COP 各項目の変化の相違を検討する目的で、COP 各項目での群間と固視点距離の反復測定二元配置分散分析を行った。その結果、総軌跡長では、年齢条件と距離条件とに主効果を認め、有意な交互作用も認めた (年齢条件: $F=7.93$; $p=0.01$, 距離条件: $F=5.06$; $p=0.01$, 交互作用: $F=6.23$; $p=0.01$) (表 5)。また、単位軌跡長では、年齢条件との間に有意な主効果を認めたが、交互作用はなかった (年齢条件: $F=7.91$; $p=0.01$, 交互作用: $F=3.38$; $p=0.05$) (表 5)。さらに、外周面積では、距離条件に主効果を認めたが、交互作用はなかった (距離条件: $F=3.57$, $p=0.04$; 交互作用: $F=2.59$, $p=0.09$) (表 5)。X および Y 方向の動揺平均中心変位には有意な主効果と交互作用はなかった (表 5)。

Bonferroni 補正による多重比較検定の結果、57cm、171cm および 285cm における DG 中の高齢者群の総軌跡長が、成人群に比べて有意に増加していた (57cm: $p<0.01$, 171cm: $p<0.01$, 285cm: $p=0.04$) (図 6)。さらに、高齢者群の単位軌跡長は、DG 中の

57cm と 171cm とで成人群に比べて増加していた(57cm: $p=0.04$, 171cm: $p=0.03$) (図 6)。高齢者群では、距離条件で 171cm での DG 中の総軌跡長は 57cm ならびに 285cm に比べて有意に減少した(57cm: $p=0.02$, 285cm: $p=0.02$) (図 6)。主効果を示した外周面積は、Bonferroni 補正によって有意差はない結果となった(171cm vs 285cm: $p=0.11$) (図 6)。成人群では、距離条件での有意な差はなかった(図 6)。結果として、高齢者では、平均身長約 1.5 倍前方(水平距離で 171cm 程度)の地面を指標とすることで、姿勢を安定できる可能性を示していた。

年齢群間と DG 距離での各脊椎彎曲角の項目の変化を、反復測定二元配置分散分析で検討した結果、頭蓋椎角と胸椎後彎角では、年齢条件と距離条件とに主効果を認めたが、有意な交互作用はなかった(頭蓋椎角: 年齢条件; $F=10.15$, $p=0.01$, 距離条件; $F=75.30$; $p<0.01$, 交互作用: $F=0.04$; $p=0.89$); (胸椎後彎角: 年齢条件; $F=21.43$, $p<0.01$, 距離条件; $F=27.30$; $p<0.01$, 交互作用: $F=1.30$; $p=0.28$) (表 6)。腰椎前彎角と全体傾斜角は、年齢条件で主効果を認めたが、有意な交互作用はなかった(腰椎前彎角: 年齢条件; $F=9.30$, $p=0.01$, 交互作用; $F=2.59$; $p=0.09$); (全体傾斜角: 年齢条件; $F=11.09$, $p<0.01$, 交互作用: $F=0.80$; $p=0.41$) (表 6)。

さらに、各脊椎彎曲に関連する項目での年齢群間と DG 距離との関連性を検討する目的で、Bonferroni 補正による多重比較検定を行った。その結果、57cm、171cm および 285cm における DG 中の高齢者群では、成人群に比べて胸椎後彎角、腰椎前彎および全体傾斜角に有意な増加を認め、頭蓋椎角は有意に低下していた(頭蓋椎角: 57cm; $p=0.03$, 171cm; $p=0.03$, 285cm; $p=0.01$); (胸椎後彎角: 57cm; $p<0.01$, 171cm; $p<0.01$, 285cm; $p<0.01$); (胸椎前彎角: 57cm; $p=0.23$, 171cm; $p=0.03$, 285cm; $p=0.03$); (全体傾斜角: 57cm; $p<0.01$, 171cm; $p<0.01$, 285cm; $p<0.01$) (図 7)。高齢者群と成人群の距離条件では、頭蓋椎角は距離が長くなるにつれて有意に増加を示した(両群: 57cm vs 171cm; $p<0.01$, 57cm vs 285cm; $p<0.01$, 171cm vs 285cm; $p<0.01$) (図 7)。また、DG 中の高齢者群の胸椎後彎角は、距離が長くなるにつれて有意に低下した(57cm vs 171cm: $p=0.03$, 57cm vs 285cm: $p<0.01$, 171cm vs 285cm: $p=0.02$) (図 7)。一方、成人群では 57cm と 285cm および 171cm と 285cm との間で有意に増加した(57cm vs 171cm: $p<0.01$, 171cm vs 285cm: $p<0.01$) (図 7)。

また、成人群と高齢者群における DG 距離における COP と脊椎彎曲角および頭蓋椎角の相関を Pearson 相関分析で検討したところ(表 7, 8, 9)、高齢者群の 57cm での X 方向動揺平均中心変位と全体傾斜角(表 7)、および 171cm の Y 方向動揺平均中心変位と腰椎前彎角とで正の相関があった(X 方向動揺平均中心変位: $r=0.62$, $p=0.02$); (Y 方向動揺平均中心変位: $r=0.57$, $p=0.03$) (表 8)。一方、成人群では、57cm での単位軌跡長と頭蓋椎角との間に正の相関があった($r=0.62$, $p=0.01$) (表 7)。これら以外の項目では、成人群と高齢者群ともに有意な相関を示した項目はなかった(表 7, 8, 9)。

以上の結果は、健常高齢者では DG 状態で健常成人に比べて重心動揺が大きく、視線距離がおおよそ身長約 1.5 倍程度の時に姿勢が一番安定する可能性を示唆していた。また、興味ある点として、研究 1 での水平視 171cm と研究 2 での DG171cm での COP の総軌跡長や単位軌跡長がほぼ類似値になっていた。

表 5. COP に対する反復測定二元配置分散分析

	対象群	距離条件			対象群		距離条件		対象群×距離条件	
		近距離	中距離	遠距離	F 値	p 値	F 値	p 値	F 値	p 値
総軌跡長	成人群	48.0 ± 16.1	48.9 ± 13.8	52.1 ± 16.4	7.93	0.01*	5.06	0.01*	6.23	<0.01**
	高齢群	90.0 ± 42.8	72.8 ± 33.3	86.6 ± 46.5						
単位軌跡長	成人群	0.8 ± 0.2	0.8 ± 0.2	0.9 ± 0.3	7.91	0.01*	2.27	0.12	3.38	0.05
	高齢群	1.5 ± 0.7	1.3 ± 0.6	1.4 ± 0.8						
外周面積	成人群	2.0 ± 1.2	2.0 ± 1.1	2.4 ± 1.5	2.25	0.16	3.57	0.04*	2.59	0.09
	高齢群	3.3 ± 2.2	2.5 ± 1.6	3.3 ± 2.3						
X 方向平均 中心変位	成人群	-0.2 ± 0.7	-0.1 ± 0.7	0.1 ± 0.6	2.10	0.17	0.43	0.65	1.47	0.25
	高齢群	0.5 ± 0.7	0.3 ± 0.8	0.3 ± 0.9						
Y 方向平均 中心変位	成人群	-3.3 ± 1.0	-3.0 ± 1.1	-2.7 ± 1.0	0.92	0.36	4.05	0.03	1.22	0.31
	高齢群	-2.9 ± 1.3	-2.2 ± 1.6	-2.5 ± 2.0						

総軌跡長では、対象群と距離条件で有意な主効果があり、交互作用があった。単位軌跡長では対象群で、外周面積では距離条件で、有意な主効果があった。(**p<0.01, *p<0.05; 平均±標準偏差、測定値の単位:外周面積 cm², その他 cm)

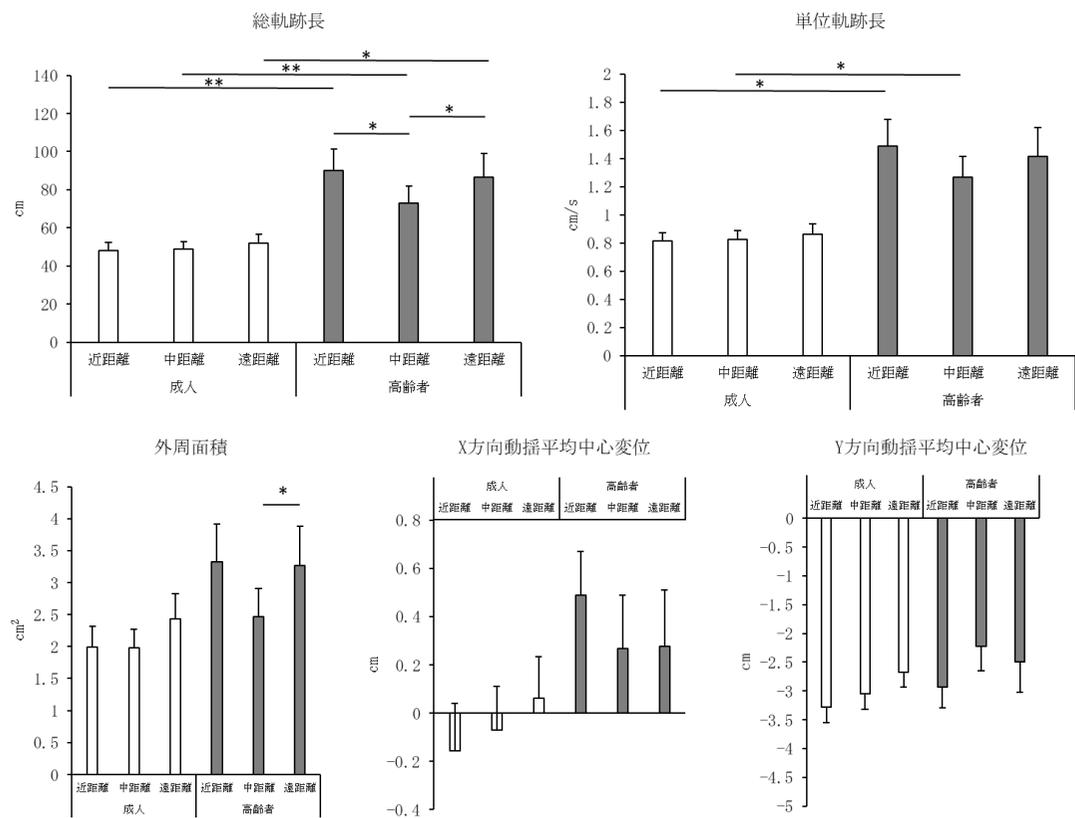


図 6. Bonferroni 補正による COP に対する多重比較検定

高齢者群の総軌跡長が、全ての DG 距離で成人に比べて有意に増加していた。また高齢者群では 171cmDG 中の総軌跡長が他に比べて有意に減少していた。さらに、高齢者群の単位軌跡長も成人群に比べて 57cm と 171cm とで有意に増加していた。

(**:<0.01, *P<0.05; 平均±標準誤差)

表 6. 頭蓋椎角と脊椎彎曲角に対する対象群間と距離での反復測定二元配置分散分析

	対象群	距離条件			対象群		距離条件		対象群×距離条件	
		近距離	中距離	遠距離	F 値	p 値	F 値	p 値	F 値	p 値
頭蓋椎角	成人群	31.8 ± 5.8	43.0 ± 4.7	48.6 ± 4.5	10.15	<0.01**	75.30	<0.01**	0.04	0.89
	高齢群	22.5 ± 11.6	33.6 ± 11.9	38.6 ± 11.4						
胸椎後彎角	成人群	26.3 ± 5.7	23.5 ± 7.3	18.9 ± 6.8	21.44	<0.01**	27.90	<0.01**	1.30	0.28
	高齢群	49.5 ± 14.6	43.2 ± 13.5	39.6 ± 13.3						
腰椎前彎角	成人群	-20.5 ± 8.1	-23.3 ± 10.3	-21.3 ± 9.3	9.30	<0.01**	1.66	0.21	2.59	0.09
	高齢群	-15.0 ± 9.7	-13.8 ± 9.6	-10.0 ± 13.8						
全体傾斜角	成人群	1.8 ± 3.0	1.9 ± 2.9	1.6 ± 2.9	11.09	<0.01**	1.30	0.29	0.80	0.42
	高齢群	9.0 ± 6.9	8.4 ± 6.6	7.4 ± 5.1						

頭蓋椎角と全ての脊椎彎曲角では、対象群で有意な主効果があった。また、頭蓋椎角と胸椎前彎角では距離条件で有意な主効果があった。

(**p<0.01; 平均±標準偏差、測定値の単位:度)

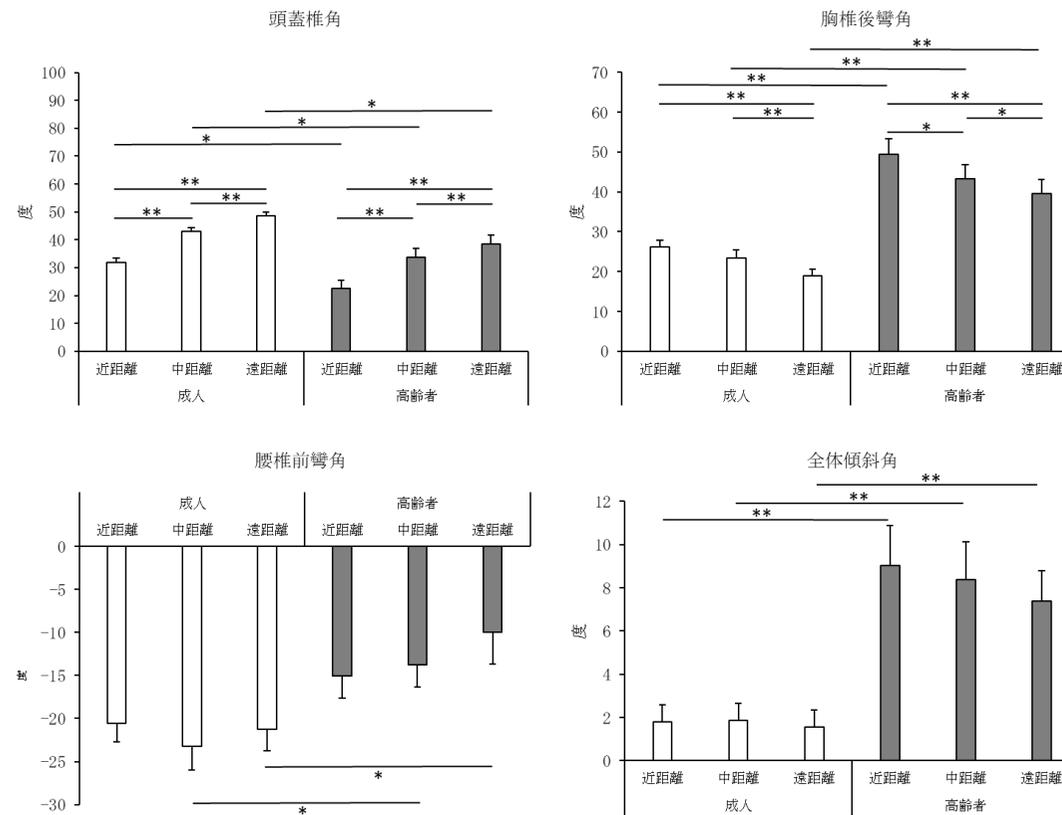


図 7. Bonferroni 補正による年齢群と頭蓋椎角や脊椎彎曲角に対する多重比較検定
 高齢者群では、DG 距離 3 条件で全て成人群に比べて胸椎後彎角、腰椎前彎および全体傾斜角に有意な増加を認め、頭蓋椎角は有意に低下していた。

(**:<0.01, *P<0.05; 平均±標準誤差)

表 7. DG 近距離における COP と頭蓋椎角および脊椎彎曲角との関連性

	頭蓋椎角		胸椎後彎角				腰椎前彎角				全体傾斜角					
	成人群		高齢者群		成人群		高齢者群		成人群		高齢者群		成人群		高齢者群	
	r 値	p 値	r 値	p 値	r 値	p 値	r 値	p 値	r 値	p 値	r 値	p 値	r 値	p 値	r 値	p 値
総軌跡長	0.44	0.10	-0.20	0.47	0.14	0.63	0.15	0.60	-0.08	0.79	0.05	0.85	-0.31	0.27	0.36	0.19
単位軌跡長	0.62	0.01*	-0.19	0.50	-0.02	0.94	0.11	0.71	-0.09	0.76	0.04	0.89	-0.19	0.50	0.37	0.17
外周面積	0.25	0.36	-0.21	0.45	0.38	0.16	0.08	0.77	-0.25	0.38	-0.05	0.87	-0.25	0.38	0.36	0.19
X 方向動揺 平均中心変位	0.11	0.71	-0.14	0.61	0.22	0.43	-0.10	0.71	-0.17	0.55	-0.46	0.09	-0.14	0.62	0.62	0.02*
Y 方向動揺 平均中心変位	-0.24	0.39	0.28	0.32	0.28	0.31	0.40	0.15	-0.02	0.95	0.48	0.07	0.26	0.34	0.03	0.91

DG 近距離における成人群での頭蓋椎角と単位軌跡長および高齢者群での全体傾斜角と X 方向動揺平均中心変位とでは、有意な正の相関を示した。

(*p<0.05; 相関: r=0.7~0.4、測定値の単位:外周面積 cm², その他 cm)

表 8. DG 中距離における COP と頭蓋椎角および脊椎彎曲角との関連性

	頭蓋椎角				胸椎後彎角				腰椎前彎角				全体傾斜角			
	成人群		高齢者群		成人群		高齢者群		成人群		高齢者群		成人群		高齢者群	
	r 値	p 値	r 値	p 値	r 値	p 値	r 値	p 値	r 値	p 値	r 値	p 値	r 値	p 値	r 値	p 値
総軌跡長	0.23	0.42	-0.35	0.20	-0.13	0.65	<-0.01	0.99	-0.31	0.26	-0.06	0.84	-0.27	0.34	0.11	0.71
単位軌跡長	0.21	0.45	-0.43	0.11	-0.10	0.72	0.09	0.74	-0.29	0.30	0.12	0.66	-0.24	0.40	0.20	0.47
外周面積	0.06	0.84	-0.38	0.16	-0.06	0.84	0.14	0.62	0.03	0.92	0.49	0.06	0.03	0.91	0.29	0.29
X 方向動揺 平均中心変位	0.37	0.17	-0.23	0.41	0.28	0.32	-0.11	0.70	-0.49	0.06	<-0.01	0.98	-0.26	0.36	0.11	0.69
Y 方向動揺 平均中心変位	0.01	0.96	0.15	0.60	0.20	0.48	<-0.01	1.00	0.24	0.40	0.57	0.03*	<-0.01	0.99	0.40	0.14

DG 中距離における高齢者群での腰椎前彎角と Y 方向動揺平均中心変位とでは有意な負の相関を示した。

(*p<0.05; 相関: r=0.7~0.4、測定値の単位:外周面積 cm², その他 cm)

表 9. DG 遠距離における COP と頭蓋椎角および脊椎彎曲角との関連性

	頭蓋椎角		胸椎後彎角				腰椎前彎角				全体傾斜角					
	成人群		高齢者群		成人群		高齢者群		成人群		高齢者群		成人群		高齢者群	
	r 値	p 値	r 値	p 値	r 値	p 値	r 値	p 値	r 値	p 値	r 値	p 値	r 値	p 値	r 値	p 値
総軌跡長	0.43	0.11	-0.50	0.06	<0.01	0.99	-0.02	0.96	-0.26	0.34	0.25	0.37	-0.09	0.75	0.09	0.74
単位軌跡長	0.45	0.10	-0.46	0.08	<0.01	0.99	-0.06	0.85	-0.28	0.31	0.19	0.50	-0.08	0.78	0.05	0.87
外周面積	0.01	0.97	-0.44	0.11	0.26	0.36	-0.06	0.84	0.11	0.69	0.24	0.40	-0.17	0.54	0.12	0.68
X 方向動揺 平均中心変位	-0.11	0.71	-0.04	0.90	0.28	0.31	-0.35	0.20	-0.13	0.66	-0.45	0.10	-0.41	0.13	0.50	0.06
Y 方向動揺 平均中心変位	-0.06	0.83	0.18	0.51	0.01	0.96	0.09	0.74	0.27	0.34	0.43	0.11	-0.05	0.87	0.13	0.64

DG 遠距離では、頭蓋椎角および脊椎彎曲と COP との間に有意な相関はなかった。

(測定値の単位:外周面積 cm², その他 cm)

5. 考察

本結果をまとめると、① 健常高齢者では DG 状態でも健常成人に比べて重心動揺が大きかったことから、高齢者の姿勢不安定性が視線の位置とは関連せず、脊椎彎曲による重心位置の変化や前庭・小脳系、体性感覚系、視覚系の機能低下による可能性が高いこと、② 健常高齢者では、DG の場合には視線位置がおおよそ身長 の 1.5 倍程度の距離の時に姿勢が一番安定すること、がわかった。特に、健常若年者と比較して健常高齢者で視線の位置に関わらず重心動揺が大きくなることは、多くの研究からも明らかで、本結果も同様の結果を得られたものと考えられる。

1) 視線と姿勢制御

塩田ら⁴³⁾の研究によると、立位姿勢時に、若年者と比較し高齢者で、眼球運動の平面面積が増大して停留時間の短縮が認められたことから、高齢者では、安静立位時でも頻繁に停留点を変化させることで姿勢安定に努めようとしている可能性がある。過去のサッケード研究でも、飛び石ターゲット上を歩く課題で、転倒歴のない高齢者や若年者では動作開始前(下肢の振り出し)から動作終了(着地)までターゲットに視線を保持しているが、転倒歴のある高齢者では視線を頻繁に動かし、動作終了前には次のターゲットに視線が向けられていた、との報告⁵²⁾がある。つまり、高齢者で認められる頻回なサッケードは、下肢の正確なコントロールを妨げ、身体に対し視覚的に誤った位置情報を伝えることで、転倒につながる可能性が高い。また、加齢によってサッケードの移動速度が低下する⁵²⁾ことも知られており、サッケード中やその前後では正しく視空間定位が行われないことによって眼球の位置情報が実際の眼球位置に対応しないために転倒につながると思われる。本研究では、床面を固視させる課題とし、脊椎前彎に合わせた視線やサッケードを極力抑制する条件を設定することで重心動揺変化を検討したが、研究 1 と同様に健常成人群と比べて健常高齢者群での重心動揺が大きい結果となった。これは、姿勢制御に関する視覚機能として、指標を固視する随意的な要素よりも視野の安定性に働く不随的(無意識的)な要素の低下による影響が強いためではないかと想像できる。視野安定に働く眼球運動には、前庭動眼反射および視運動性反射があり、これらの眼球運動は網膜像のぶれを防ぐための視運動性応答を司っている。通常、外環境からの光が網膜に結像することで視覚情報は得られるが、自己と環境がともに静止しているときには、網膜像に時間的な変化は起こらない。しかし、高齢者では、虹彩の括約筋線維の硬化による形態学的な変化や加齢による交感神経の変化などによって瞳孔径が縮小し網膜照度が低下することで、網膜像のぶれが著明となったことで、重心に動揺をきたすことになった可能性がある。

2) 視線距離(奥行き知覚)と重心動揺

姿勢制御にあたり奥行き知覚は重要な要素の 1 つとされている。この奥行き知覚は、注視点で交差される両眼の視線のなす角度である輻輳運動が重要となる。通常、奥行き知覚の重要な因子として、輻輳、両眼視差やその調節があげられる。前景盤が前後方向のみに移動する課題では、前景盤が離されたときに身体は前へ、近づけられた時には身

体が後方へふれるとの報告がある⁴³⁾⁵³⁾。つまり、視覚的变化を補完する方向に身体が移動する。本研究では、DG の際の固視点の距離を変化させることで、重心動揺への影響を検討したが、その動揺と固視点の距離に関連性が認められ、高齢者では立位姿勢を最も安定させるために、身長⁵³⁾の 1.5 倍程度の床面に視線を向けさせる、特に歩行時には自分の身長⁵³⁾の 1.5 倍程度の床面を見ながら歩行することで安定した姿勢を保持できる可能性がある結果となった。

高齢者では、一般に両眼輻輳角の増大を認める。通常、輻輳角は近い距離を見ているとそのなす角は増大することから、高齢者は若年者と比較して姿勢制御時には近い距離を見て姿勢を保持していると考えられる⁵³⁾。日常的には段差や障害物などを認識する際に、遠距離から認識して安全に回避出来る様に身体応答の準備をするが、高齢者は日常的に近い距離での奥行きのみしか把握できない可能性があり、そのために水平視や遠距離を固視させた場合に重心動揺が悪化したと考えられる。加えて、輻輳調節には両眼球の内側への回転に伴う輻輳角を作る際の外眼筋の収縮機能が関与すると考えられる。加齢によって外眼筋の生理的萎縮や水晶体の加齢変化が現れることで、身体近くの近距離での奥行き知覚が低下していると思われる。そのため、高齢者では若年者と比較して、遠距離のみならず近距離での重心動揺が増大したと考えられる。

本結果は、高齢者の輻輳調節に最も良い距離として、身長⁵³⁾の約 1.5 倍程度の DG であることを示したものとして、静止立位時のみならず歩行時の姿勢安定への指導に生かせる可能性が示唆された。

IV. 総合考察

研究1と2の結果より、身体機能において筋発揮時間の潜時の遅延、関節可動域の制限やその柔軟性の低下を認める高齢者にとって、奥行き知覚の低下は、遠距離の段差などの危険因子に対する距離感を正しく把握できないため、日常生活での転倒などにつながると考えられる。

今回詳細な検討を行っていないが、研究1の結果から、健常若年成人と健常高齢者での閉眼時と開眼時での重心動揺の変化を比べると、その程度に違いがあるようにもみられる。つまり、脊椎彎曲角と視覚情報の有無の関連性が姿勢動揺に与える影響も無視できない可能性がある。一方で、三森らの側弯症を対象にした研究⁵⁰⁾では、ロンベルグ率(閉眼時動揺指標/開眼時動揺指標)を用いて、健常者、胸椎カーブ群および腰椎カーブ群を比較し、総軌跡長が、両カーブ群で健常者よりも有意に低く、特に腰椎カーブ群では著明であったことが報告されている。また、高齢者の静止立位時に支持基底面を狭くした状態で認知課題を行うと、脳内での静止立位の制御戦略に変化が起り、足関節筋の同時収縮が増大することで姿勢動揺が減少する、ことも報告されている⁵⁴⁾。本研究では下肢の筋電図を測定していないため、前述のような筋の制御機能の効果の詳細は確認できないが、加齢とともに生じる時間経過のゆっくりとした身体変化に伴って生じる機能変化に対しては、制限されている身体機能以外の機能を利用することで、できる限りの姿勢を保持する不随機能が働き、環境に適応して身の危険から守るような身体制御機能が確立されている可能性がある。

さらに、本研究2の結果では、健常高齢者で、水平視で指標を171cmに置いた場合とDGで水平距離171cm(目線からの距離が身長約1.5倍)を固視させた場合で、比較的安定した姿勢を保つことができ、両方の総軌跡長もほぼ変わらなかったことを考えると、その距離が水平視とDGでの輻輳機能に最も適し、姿勢保持への安全性が保たれる距離と思われる。転倒が起こる場合の多くは移動中であることを考えると、移動中に水平視を保つことや目線の水平面上に持続的に固視できるものを見つけるのは困難であり、多くはDG状態であるため、目線を自分の身長のおおよそ1.5倍程度に置いて移動するような訓練をすることで、転倒予防につながる可能性がある。このように視線をコントロールすることや奥行き知覚を正しく把握させることで、臨床的に小脳疾患患者や半側空間無視の症状を伴う患者などの姿勢安定や転倒防止に効果が認められた報告もある⁵⁵⁾。また、眼球運動を含めた視覚機能を支配する中枢は、大脳、小脳、大脳基底核など身体運動系(出力系)ときわめて密接な機能連関をもっており、視覚情報が四肢の運動コントロールに重要であるとの報告もある⁵⁶⁾。作業療法では、半側無視患者など多数の疾患で視覚系と身体運動に問題を抱えるケースがあり、視線の動きを考慮した姿勢制御の練習などを行う必要があると考えられた。

V. 本研究の限界

本研究では、検討した症例数が少なく、平面起立や歩行を想定したため、指標の高さの要素まで検討せず距離の要素のみでの検討となった。また、今回、対象者が少なく、設定条件も限られてしまったため、脊柱彎曲角と姿勢動揺との関連性の詳細までは検討できなかった。さらに、屋内での実験で、変更した固視点までの距離にも限界があった点を考えると、限られた状況下での結果とも捉えられ考察が仮説を脱することができない点や、研究期間内に新たな転倒予防対策へのアプローチ開発まで至らなかったが、今後対象者を増やし、実験条件を変化させていくことで、本結果を基盤とした高齢者のための姿勢制御を目的としたリハビリテーションの基盤を確立し、信頼性と妥当性のある新たな転倒防止に効果あるリハビリテーションの開発につなげたい。

VI. 研究総括

今回の研究では、健常高齢者の立位姿勢安定が、若年成人者と比較してより視覚機能に依存し、その安定のためには視線の位置も重要であることがわかった。今後の課題として、高齢者での平衡機能や歩行のトレーニングに際しては、視線を向けさせる位置を考えながら、若年者と異なるプログラムを開発する必要性が推察された。

Ⅶ. 謝辞

本研究は、国際医療福祉大学医療福祉学研究科・保健医療学専攻・作業療法学分野において行われたものである。

本研究の計画、実施、データ解析および博士論文執筆にあたり、多くのご指導およびご助言を賜りました国際医療福祉大学医学部生理学講座の後藤純信教授、実験の相談や日常の議論を通じて多くの示唆を頂いた国際医療福祉大学薬学部の緒方勝也教授、福岡国際医療福祉大学医療学部理学療法学科の池田拓郎先生に心から感謝するとともに、厚く御礼を申し上げます。

VIII. 文献一覧

- 1) 厚生労働省. 2022. 第23回生命表(完全生命表)の概況.
<https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/life/23th/dl/23th-02.pdf>
2022.10.10
- 2) Sheldon JH. The social medicine of old age. London: Oxford University Press, 1948.
- 3) Province MA, Hardley EC, Hornbrook MC, et al. The effects of exercise on falls in elderly patients. A preplanned metaanalysis of the FICSIT Trials. Frailty and Injuries: Cooperative Studies of Intervention Techniques. JAMA. 1995;273(17):1341-1347.
- 4) Gillespie LD, Robertson MC. Interventions for preventing falls in older people living in the community. Cochrane Database of Systematic Reviews. 2012: 9. Art. No.: CD007146. DOI: 10.1002/14651858.CD007146.pub3.
- 5) 厚生労働省. 2021. 令和3年(2021)人口動態統計(確定数)の概況.
https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/jinkou/kakutei21/dl/03_h1.pdf
2022.10.1
- 6) Nevitt MC. Falls in the elderly: Risk factors and prevention. (Masdeu JC, Sudarsky L, Wolfson L eds.). Gait disorders of aging. Falls and therapeutic strategies, Philadelphia:Lippincott-Raven, 1997:13-36.
- 7) Hagino H, Sakamoto K, Harada A, et al. Committee on osteoporosis of the Japanese Orthopaedic Association. Nationwide one-decade survey of hip fractures in Japan. J.Orthop.Sci. 2010;15(6):737-745.
- 8) Hagino H, Katagiri H, Okano T, et al. Increasing incidence of hip fracture in Tottori Prefecture, Japan:trend from 1986 to 2001. Osteoporos. Int. 2005;16(12):1963-1968.
- 9) 大高洋平. 高齢者の転倒による骨折-現状と展望-. MB. Med. Reha. 2008;29-34.
- 10) Murphy J, Isaacs B. The post-fall syndrome. A study of 36 elderly patients. Gerontology. 1982;28:265-270.
- 11) 厚生労働省. 2013. 平成25年度国民生活基礎調査の概況.
<http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/k-tyosa/k-tyosa13/index.html>
2022.10.1.
- 12) Tinetti ME, Speechley M, Ginter SF. Risk factors for falls among elderly persons living in the community. N.Engl. J. Med. 1988;319(26):1701-1707.
- 13) Campbell AJ, Borrie MJ, Spears GF, et al. Circumstances and consequences of falls experienced by a community population 70 years and over during a prospective study. Age and Ageing 1990;19(2):136-141.
- 14) 安村誠司. 高齢者の転倒と骨折. (眞野行生編). 高齢者の転倒とその対策. 東京:医歯薬出版株式会社, 1999:40-45.

- 15) 長谷川幸治, 原田敦, 藁科秀紀ら. コホートにおける転倒と運動器疾患. *Osteoporosis Jpn.* 1999;7:554-558.
- 16) 大高洋平, 里宇明元, 宇沢充圭ら. エビデンスからみた転倒予防プログラムの効果-狭義の転倒予防. *リハビリテーション医学.* 2003;40(6):374-388.
- 17) 大高洋平, 里宇明元. 転倒その予防と対策エビデンスに基づいた転倒予防. *リハビリテーション医学.* 2006;43(2):96-104.
- 18) The prevention of falls in later life. A report of the Kellogg International Work Group on the Prevention of Falls by the Elderly. *Dan. Med. Bull.* 1987;34, Suppl. 4:1-24.
- 19) Buchner DM, Hornbrook MC, Kutner NG, et al. Development of the common data base for the FICSIT trials. *J. Am. Geriatr. Soc.* 1993;41:297-308.
- 20) Tinetti ME, Kumar C. The patient who falls:" It' s always a trade-off" . *JAMA.* 2010. 303(3):258-266.
- 21) Jones TS, Dunn CL, Wu DS, et al. Relationship between asking an older adult about falls and surgical outcomes. *JAMA. Surg.* 2013;148(12):1132-1138.
- 22) 大高洋平. 高齢者の転倒予防の現状と課題. *日本転倒予防学会.* 2015;1:11-20.
- 23) Lord SR, Ward JK. Age-associated differences in sensori-motor function and balance in community dwelling women. *Age Ageing* 1994;23(6):452-460.
- 24) 石川朗, 武藤美穂子, 佐伯秀一ら. 平衡機能検査を目的とした Cross Test の有効性. *理学療法学* 1994;21:186-194.
- 25) Bohannon RW , Larkin PA, Cook AC, et al . Decrease in timed balance test scores with aging. *Phys. Ther.* 1984;64:1067-1070.
- 26) 内山 靖. 姿勢バランスの定量的評価. *理学療法学* 1997;24:109-113.
- 27) 小栢進也, 池添冬芽, 建内宏重ら. 高齢者の姿勢制御能力と転倒恐怖感および生活活動量との関連. *理学療法学* 2010;37(2):186-194.
- 28) Fujiwara K, Asai H, Toyama H, et al. Dynamic balance training by balance board for the elderly. (Yabe k, Kusano K, Nakata H, eds.) *Adapted physical activity, Tokyo:Springer-Verlag, 1994:225-237.*
- 29) Pyykkö I, Aalto H, Hytonen H, et al. Effect of age on postural control. (Amblard B, Berthoz A, Clarac F, eds.) *Posture and Gait: development, adaptation and modulation, Amsterdam: Elsevier, 1988:95-102.*
- 30) 江藤真紀, 久保田新. 在宅健常高齢者の転倒に影響する身体的要因と心理的要因. *日本看護研究学会雑誌* 2000;23(4):43-58.
- 31) Paulus WM, Straube A, Brandt Th. Visual stabilization of posture. *Brain* 1984;107(4):1143-1163.
- 32) 石崎久義, Pyykkö I. 高齢者の姿勢制御機構-転倒と視覚の関係について-. *Equilibrium Res.* 1995;54(5):409-415.
- 33) 江藤真紀. 地域在住高齢者における転倒既往と視覚刺激下の姿勢制御能と関連. *日本老年医学雑誌* 2005;42(1):106-111.

- 34) Chen HC, Schultz AB, Ashton-Miller JA et al. Stepping over obstacles: Dividing attention impairs performance of old more than young adults. *The Journals of Gerontology* 1996;51A(3):116-122.
- 35) 伊藤納奈, 福田忠彦. 歩行時の下方視覚情報への依存における加齢効果: 眼球運動の時系列的変化. *人間工学* 2004;40(5):239-247.
- 36) Stoffregen T, Smart LJ, Bardy BG et al. Postural stabilization of looking. *J. Exp. Psychol. Hum. Percep. Performance* 1999;25(6):1641-1658.
- 37) Edwards AS. Body sway and vision. *J. Exp. Psychol.* 1946;36:526-535.
- 38) 市川真澄, 渡邊悟. 直立姿勢に対する視覚情報の影響. *バイオメカニズム学会誌* 1991;15(2):59-64.
- 39) Shummway-Cook A. (田中繁, 高橋明監訳). モーターコントロール(原著第3版 運動制御の理論から臨床実践へ, 東京: 医歯薬出版社, 2009:152-182.
- 40) 長谷公隆. 臨床に生かす動作解析. *Jap. J. Reh. Med.* 2010;47:591-614.
- 41) 辻太一, 松山幸弘, 後藤学ら. 中高年者の腰痛の疫学的検討—腰椎アライメントと重心動揺の関係—. *日本脊椎脊髄病学会雑誌* 2004;15:378.
- 42) Okuni I, Uchi M, Harada T. Sagittal-plane spina curvature and center of foot pressure in healthy young adults. *東邦医学会雑誌* 2006;53(4):254-260.
- 43) 塩田琴美, 高梨晃, 野北好春ら. 視線行動と姿勢制御の関連性についての検討—高齢者と若年者の比較—. *理学療法科学* 2009;24(6):821-825.
- 44) Hirano K, Imagama S, Hasegawa Y, et al. Impact of back muscle strength and aging on locomotive syndrome in community living Japanese women. *Nagoya J. Medical Sci.* 2013;75(1-2):47-55.
- 45) Imagama S, Ito Z, Wakao N, et al. Influence of spinal sagittal alignment, body balance, muscle strength, and physical ability on falling of middle-aged and elderly males. *Eur. Spine J.* 2013;22(6):1346-1353.
- 46) Hida M, Wada C, Imai R, et al. Spinal postural alignment measurements using markerless digital photography. *J. Orthop. Surg. (Hong Kong)* 2020;28(3):2309499020960834. doi:10.1177/2309499020960834.
- 47) Hazar Z, Karabicak GO, Tiftikci U. Reliability of photographic posture analysis of adolescents. *J. Phys. Ther. Sci.* 2015;27(10):3123-3126.
- 48) 後藤昭信, 宮下善和, 平林千春ら. 高齢者の直立時重心動揺の特徴について—身体動揺の研究 第27報—. *Equilibrium Res.* 1998;48(2):138-143.
- 49) 平林千春, 田口嘉一郎. 小児の発育に伴う重心動揺の定量的変動. *Equilibrium Res.* 1985;44(3):252-256.
- 50) 三森由香子, 渡辺航太, 大高洋平ら. 脊柱の変形部位が静止立位姿勢制御に及ぼす影響—思春期特発性側弯症のシングルカーブにおける検討—. *理学療法学* 2015;42(5):377-383.
- 51) 峯貴文, 立花孝. 著明な円背を伴う高齢者の歩行訓練. *理学療法ジャーナル* 2006;40(8):649-654.

- 52) Chapman GJ. Evidence for a link between changes to gaze behaviour and risk of falling in older adults during adaptive locomotion. *Gait Posture* 2006, 24(3):288-294.
- 53) 西野仁雄, 柳原大. 運動の神経科学. 東京:ナツブ 2001:72-88.
- 54) Melzer I, Benjuya N, Kaplanski. Age -related changes of postural control: effect of cognitive tasks. *Gerontology* 2001, 47(4):189-194.
- 55) Crowdy KA, Kaur-Mann D, Cooper HL et al. Rehearsal by eye movement improves visiomotor performance in cerebellar patients. *Exp. Brain Res.* 2002;146(2):244-247.
- 56) Wilmut K, Wann JP, Brown JH. How active gaze informs the hand in sequential pointing movements. *Exp. Brain Res.* 2006;175:654-666.