

人体姿勢と動作の学際的議論の推進および 定量化支援技術との連携の必要性

佐々木 空* (リガーレカイロプラクティック) 森山 剛 (東京工芸大学)

長谷川 明弘 (東洋英和女学院大学) 中村 俊 (コルラボ)

小川 尚志 (EMBOSS) 木津 直昭 (KIZU カイロプラティック)

陶 テイ (山口大学) 大場 黎 (八千代市適応支援センターフレンド八千代)

大塚 蔵嵩 (国立がん研究センター) 高木 杏奈 (新宿メンタルヘルスクリニック)

栗原 雄一 (DRONE PILOT AGENCY) 大森 知 (スポーツトレーナー)

三好 敏之 (尚絅学院大学) 大浦 邦彦 (国士舘大学)

藤巻 弘太郎 (ぶばいオハナ歯科)

Necessity of promoting interdisciplinary discussion on human posture and movement and its linkage with
assistive technologies for quantification

Hiroshi Sasaki*, (Ligare Chiropractic), Tsuyoshi Moriyama, (Tokyo Polytechnic University)

Akihiro Hasegawa, (Toyo Eiwa University), Syun Nakamura, (CorLab)

Naoshi Ogawa, (EMBOSS), Tadaaki Kizu, (KIZU Chiropractic)

Tei Tou, (Yamaguchi University), Rei Oba, (Yachiyo City Adaptation Assistance Center Friend Yachiyo)

Kurataka Otsuka, (National Cancer Center), Anna Takagi, (Shinjuku Mental Health Clinic)

Yuichi Kurihara, (DRONE PILOT AGENCY), Tomo Omori, (Sports Trainer)

Toshiyuki Miyoshi, (Shokei Gakuin University), Kunihiko Oura, (Kokushikan University)

Kotaro Fujimaki, (Bubai Ohana Dental Clinic)

Posture and movement is a comprehensive field that requires not only medical knowledge but also the creation of consistent technologies and practices that simultaneously target a wide range of fields, including statistics, information technology, movement studies, psychology, clothing, sports, social systems, advertising, design, and architecture. In order to carry out activities aimed at extending people's healthy life expectancy and improving their QOL through interdisciplinary discussions among various specialists, it is necessary to establish the field as an academic discipline that is closely linked to assistive technologies for objective evaluation.

キーワード：姿勢 動作 健康寿命 定量化支援技術

(posture, movement, healthy life expectancy, assistive technologies for quantification)

1. 健康寿命延伸における姿勢と動作の重要性

〈1・1〉我が国における運動推進への取り組み 我が国の平均寿命は平成の30年間に約5歳伸び、2040年には男性の42%が90歳まで、女性の20%が100歳まで生存する

と見込まれている。これに向け、2016年段階で男性72.14歳、女性74.79歳となっている健康寿命を2040年までに75歳以上とすることが目標となっている⁽¹⁾。2019年に策定された「健康寿命延伸プラン」における①次世代を含めたすべての人の健やかな生活習慣形成、②疾病予防・重症化

予防、③介護予防・フレイル対策・認知症予防に対する取り組み⁽²⁾をはじめ、まさに人生 100 年時代に向けた健康寿命延伸への取り組みが国内で加速している。特に歩行能力・移動機能の低下（ロコモティブシンドローム）については要介護となる原因との関連性からも注目を集めている。2019 年の日本における介護が必要になった原因は 1 位が認知症（17.6%）、2 位が脳血管疾患（16.1%）、3 位が高齢による衰弱（12.8%）となっている⁽³⁾が、いずれも歩行能力低下との関連性が伺える。認知症については社会参加機会の減少のみならず脳血流の低下との関連性が指摘されており⁽⁴⁾、脳血管疾患については歩行速度との負の相関が指摘されている⁽⁵⁾。また衰弱の原因の一つとして筋力の減少が挙げられる。つまり歩行能力を維持することは、直接的間接的に健康寿命を延伸することに繋がるとされている。国際的なコホート研究でも、平均余命の延伸には速歩きを含む中強度の運動習慣が欠かせないことが明らかにされている^(6,7)。さらに 2020 年以降は COVID-19 によるパンデミックの影響から人々の生活様式が変容した。運動量や筋力の低下はリモートワークやソーシャルディスタンス維持の負の側面として認知され始めているが^(8,9)、これらも上述の健康寿命を脅かすリスクとして今後深刻な社会問題に発展していく可能性がある。昨今ではこれらの問題に対し、いかにして十分な量の運動の実施・継続を実現するかといった点を中心に議論がなされている。

〈1・2〉 姿勢と動作の指針の不明瞭性 一方、運動機能の低下や歩行能力の障害の原因のなかで大きな割合を占めるのが変形性関節症（OA）である。健康寿命を延伸するための運動とは生涯にわたって活動的な日常を送ることであるが、OA は運動器機能を奪うことで生活の質の低下や死亡率の増加を招き⁽¹⁰⁾やがて要介護に至る重要な原因疾患のひとつとして疫学的調査が進んでいる。近年行われた大規模調査によると、OA の有病率は 40 歳以上では男性 42.6%、女性 62.4%であり⁽¹¹⁾、70 歳以上になると男女とも 95%以上が OA が骨粗鬆症のいずれかの X 線所見を呈していると報告された⁽¹²⁾。OA の進行を防ぐには歩行関連の機械的ストレスを軽減する必要があるが、脊椎の不正アライメントや異常な動作は関節の力学的環境の変化を引き起こし、ひいては OA の進行につながる可能性があることが示唆されている^(13, 14)。日本人は平均的に骨盤の後傾したスウェイバックという身体姿勢にある傾向があると言われているが、そのような姿勢で速歩きを行うことは、OA 発症の原因となる関節負荷を増大させるリスクがある。つまり健康寿命の延伸を目指すためには十分な量の運動を推進することも必要だが、同時にリスクの少ない姿勢や動作を提示しなければならない。しかし、国民の間には正しい姿勢に関する科学的な共通認識が未だに浸透しておらず、「背筋を伸ばす」等の曖昧な理解に留まっている。OA 進行を抑制することを

目的とした運動療法等が提示されてはいるが、包括的な予防効果に関する十分なエビデンスは得られていない^(15, 16)。これは目指すべき姿勢アライメントや動作が明確に示されていないためであり⁽¹³⁾、姿勢や動作を評価する技術および方法論がいまだ成熟していないことにも起因する。

〈1・3〉 測定技術との連携および学際的議論の必要性 姿勢や歩行動作を評価する科学技術が未熟な理由の一つは、測定技術と臨床現場の課題の乖離が挙げられる。近年の技術革新はセンシング領域においてもめざましく、様々な形のバイオシグナルの測定や推定が可能となってきた。しかしながら、臨床現場にとってはどのような測定技術が利用できるのか、また技術側にとっては何を測定すれば現場の課題解決となりうるのかという情報を互いに得にくいのが現状である。臨床課題に対する円滑な技術支援のためにはこれら異分野間における相互理解を含めた議論が必要であるが、それが可能な場は決して多くない。

二つ目の理由としては、専門家がもつ経験則の言語化が進んでいないことが挙げられる。姿勢や動作に関する様々な領域において、エビデンスがまだ付与されていないような事象や傾向に最初に気付くのは現場の専門家であるが、こうした経験則の中には十分言語化されていないものも少なくない。それ故に同じ領域の専門家同士ですら互いの経験則についてコンセンサスを得ることはしばしば困難である。本来現場から発信できたはずの知見が個人の経験則にとどまってしまうことは、姿勢や動作を扱う分野、ひいては患者等利用者にとって大きな損失であると言える。測定技術分野との連携による臨床や現場の知見の定量化は、治療や介入方法の標準化、治療効果の正確な評価にも寄与し、また専門家同士の共通言語としても機能しうること知識の正しい伝達や議論を促すことが期待できる。

三つ目の理由は専門分野の枠組みを超えた議論の場が得られにくいことである。これまでの姿勢と動作に関する研究活動のあり方は、医療分野同士の学術的交流や、指導技術や知識の啓蒙を目的としたものが主であった。しかしながら、真に課題の俯瞰を目指した場合、異なる専門分野が有機的に連携すべきケースがほとんどであることに気付かされる。例えばオフィスにおける座位姿勢の改善を目標にした時、解剖学に基づいた生体力学的知見だけでは本来は十分な結果は得られない。オフィスワーカーの心理的問題に対するケア、栄養や運動指導といった医学的視点のみならず、オフィスの空間設計やデザイン、什器等の選定、働き方の工夫、労務管理、計測デバイス等といった様々な専門分野をまたぐ議論が必要となる。一方で、姿勢や動作の正しさは異なる分野においても普遍的かつ本質的な価値を持っている。例えば筋骨格系障害や神経障害発症率の低減、より良い運動パフォーマンス、生産性の向上、ポジティブな心理状態、審美的な美しさなど、多面的な価値と結

びつき得る萃点である。すなわち姿勢とは医学的な知識に留まらず、統計学や情報工学、動作学、心理学、芸能、服飾、スポーツ、さらには自治体を含む社会システム、広告、デザイン、建築と幅広い分野を同時に対象として一貫した技術や習慣を生み出していかなければならない総合領域であり、特に客観的評価のための支援技術との緊密な連携を伴った一つの学問分野として確立する必要があるが、このような取り組みは我が国には未だない。

そこで本協同研究委員会では、ヒトの姿勢や動作に関わる広範な専門領域を包含する新たな専門家集団を構成し、人の健康寿命を延伸するための姿勢や動作の基本的な理論や方法論、評価技術、社会活動を創成することを目的とした活動を行う。本協同研究委員会では、姿勢と動作を共通項とする異分野との互いを尊重したコミュニケーションを通じた相互理解に重きを置きながら、本質的な課題解決を目的とした学際的議論を進めていく。

〈1・4〉期待される効果 姿勢や動作の測定技術への理解が深まることで、臨床や現場における客観的評価に対する敷居が低くなることが期待される。現場単位での知見の集積が普及することで仮説の検証が容易となり、測定に対するニーズがより明確になることでより課題ドリブンな技術や方法論の確立が可能となる。医療、代替医療、スポーツ、動作学、心理学、人間工学、服飾、芸能、伝統武術、芸術、建築など様々な分野における姿勢や動作に関する知識や理屈が存在するなかで、明確なエビデンスを持たないナラティブな知見も多くみられる。こうした知識や仮説に対して科学的な光を当て、再評価を行うことで多くの人々の健康に大きく寄与することができる可能性がある。また分野横断的な対話においてそうした専門分野固有の概念や経験則はコミュニケーションを阻害する要因となりうるが、ここに共通言語としての測定技術や分析手法が介在することで、ヒトの姿勢や動作についてのより普遍的な議論が可能となる。

2. 進行中の協同研究の一例の紹介：臨床動作法の肩挙げにおける座位姿勢の評価

〈2・1〉臨床動作法と「肩挙げ」 臨床動作法とは動作を行う際に生じる「意図→努力→身体運動」といった過程をこころの原初的な活動形態、すなわち心理現象と捉える心理的支援法である。1964年に催眠を脳性マヒに適用した報告を契機に九州大学の成瀬悟策を中心にした開発されたが、現在では発達障害、統合失調症、不安障害、うつ、PTSD、筋骨格系障害、スポーツパフォーマンスの増進など幅広く適用されている動作療法である^(17, 18)。この中で、「肩挙げ」という肩を上方にゆっくり挙げるという動作を通じて被支援者にコントロール感覚、リラクセーション感覚を体験させる手法がある。支援者は被支援者の身体に手を当

てる、または声掛けのみでの動作の支援を行い、被支援者の身体の動きだけでなく動作を行っている時の心理状態の評価をも行う。

〈2・2〉肩挙げに伴う痛みと姿勢の関係 過去に行った協同研究としてビデオ通話を利用したオンラインでの「肩挙げ」セッションにて正面からの録画映像の解析を行い、介入効果の数値化を検討した⁽¹⁸⁾。画像解析には深層学習法に基づく人物動作の画像解析アルゴリズムであるOpenPose⁽¹⁹⁾を用いて鼻、右目、左目、首、右肩、左肩の6つの特徴点を追跡した。この結果、セッション開始前に両肩の高さに差が観察されたケースにおいて、セッション終了後にその差が縮小した状態が持続することを画像解析上で定量化できることが分かった。一方で、セッション中に肩挙げ動作に伴う痛みを訴える事例が観察された。被支援者の初期姿勢や動き方に頭部前方変位、頸椎の伸展、胸郭の屈曲の傾向があった場合、椎間関節と呼ばれる脊椎の後側方の構造への力学的負荷が肩挙げ中に起こることが考えられる。これは頸椎の関節病変の負荷誘発テストであるスパーリングテスト⁽²⁰⁾と類似した肢位であるため、痛みや不快感が惹起されるのではないかと考えられた。つまり頸肩部の不良アライメントがあるときは本来の正常なフォームでの肩挙げ動作を行うことが困難になると言える。本来の肩挙げの介入では頸肩部の痛みが起こればよう支援者がモニタリングを行うが、特にオンラインセッションでは姿勢のモニタリング方法が課題となることが示唆された。

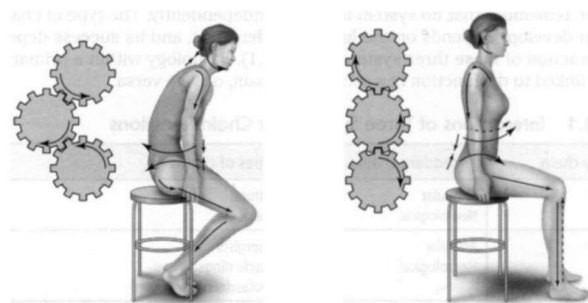


図1 不良姿勢の歯車連鎖機構

Fig. 1. Cogwheel Chain Mechanism of Poor Posture. Adapted from A. Brügger, Lehrbuch der funktionellen Störungen des Bewegungssystems [Textbook of the functional disturbances of the movement system] (Brügger-Verlag GmbH, Zollikon & Benglen), (2000). 197.

〈2・3〉座位姿勢の評価方法の検討 上述の頸肩部における不良アライメントは座位姿勢の崩れ（猫背）による影響を受けることも知られていることから(Fig. 1), 頸肩部

の不良姿勢に加え不良座位姿勢、およびこれと相関する骨盤の矢状面上の傾斜を定量化する手法を検討した。前方に加え側方と斜め前方からの動画を撮影しこれに Openpose による分析を実施する方法(Fig. 2)、インテル® RealSense デプスカメラを用いて正面映像から奥行きを測定する方法、9 軸の慣性計測装置を用いて直接骨盤の傾斜をモニタリングする方法、座面に圧センサアレイを設置し座圧の変化を測定する方法、座位の変化に伴う筋活動を表面筋電計を用いてモニタリングする方法などが提案された。安全で効果的な動作の実現を支援可能な方法論を確立するため、今後さらなる議論を進める。



図2 OpenPose を用いた座位姿勢解析の予備実験の様子

Fig. 2 Seated posture analysis using OpenPose.

A preliminary experiment using OpenPose to analyze images of a seated posture taken from the front, side, and oblique front.

3. まとめ

健康寿命の延伸を目指すためには十分な量の運動を推進するだけでなく、同時に運動器疾患を予防するためにリスクの少ない姿勢や動作を提示する必要がある。一方でそのような正しい姿勢や動作に関する明確なコンセンサスは未だ十分に得られておらず、これは姿勢や動作を評価する技術および方法論がいまだ成熟していないことにも起因すると考えられる。本質的な課題解決を目指すためには姿勢と動作に関連する様々な専門分野が職業やアカデミアの枠にとらわれず有機的に連携すること、そして客観的評価のための支援技術との協同を伴った一つの学問分野として学際的議論を進めていくことが必要である。

文 献

- (1) 厚生労働省, 「令和2年版厚生労働白書」(概要)(抜粋): 令和時代の社会保障と働き方を考える: 令和2年10月23日. 共済新報. 61, 62-69 (2020).
- (2) 厚生労働省, 健康寿命延伸プラン, 第2回2040年を展望した社会保障・働き方改革本部資料 (2019年5月), (available at

<https://www.mhlw.go.jp/content/12601000/000514142.pdf>) (2021年11月2日アクセス).

- (3) 厚生労働省, 2019 年国民生活基礎調査の概況 (2020).
- (4) K. Nakajima, S. Uchida, A. Suzuki, H. Hotta, Y. Aikawa, The effect of walking on regional blood flow and acetylcholine in the hippocampus in conscious rats. *Auton. Neurosci.* 103, 83–92 (2003).
- (5) J. Dumurgier, A. Elbaz, P. Ducimetière, B. Tavernier, A. Alperovitch, C. Tzourio, Slow walking speed and cardiovascular death in well functioning older adults: prospective cohort study. *BMJ.* 339, b4460 (2009).
- (6) S. Studenski, S. Perera, K. Patel, C. Rosano, K. Faulkner, M. Inzitari, J. Brach, J. Chandler, P. Cawthon, E. B. Connor, M. Nevitt, M. Visser, S. Kritchevsky, S. Badinelli, T. Harris, A. B. Newman, J. Cauley, L. Ferrucci, J. Guralnik, Gait speed and survival in older adults. *JAMA.* 305, 50–58 (2011).
- (7) F. F. Stanaway, D. Gnjidic, F. M. Blyth, D. G. Le Couteur, V. Naganathan, L. Waite, M. J. Seibel, D. J. Handelsman, P. N. Sambrook, R. G. Cumming, How fast does the Grim Reaper walk? Receiver operating characteristics curve analysis in healthy men aged 70 and over. *BMJ.* 343, d7679 (2011).
- (8) G. H. Tison, R. Avram, P. Kuhar, S. Abreau, G. M. Marcus, M. J. Pletcher, J. E. Olgin, Worldwide Effect of COVID-19 on Physical Activity: A Descriptive Study. *Ann. Intern. Med.* 173, 767–770 (2020).
- (9) I. R. Marçal, B. Fernandes, A. A. Viana, E. G. Ciolac, The Urgent Need for Recommending Physical Activity for the Management of Diabetes During and Beyond COVID-19 Outbreak. *Front. Endocrinol.* 11, 584642 (2020).
- (10) E. Nüesch, P. Dieppe, S. Reichenbach, S. Williams, S. Iff, P. Jüni, All cause and disease specific mortality in patients with knee or hip osteoarthritis: population based cohort study. *BMJ.* 342, d1165 (2011).
- (11) N. Yoshimura, S. Muraki, H. Oka, A. Mabuchi, Y. En-Yo, M. Yoshida, A. Saika, H. Yoshida, T. Suzuki, S. Yamamoto, H. Ishibashi, H. Kawaguchi, K. Nakamura, T. Akune, Prevalence of knee osteoarthritis, lumbar spondylosis, and osteoporosis in Japanese men and women: the research on osteoarthritis/osteoporosis against disability study. *J. Bone Miner. Metab.* 27, 620–628 (2009).
- (12) 吉村典子, 大規模住民調査からみえてきた運動器疾患の実態—ROAD study. 医学のあゆみ. 236, 315–318 (2011).
- (13) H. Tateuchi, Gait- and postural-alignment-related prognostic factors for hip and knee osteoarthritis: Toward the prevention of osteoarthritis progression. *Phys Ther Res.* 22, 31–37 (2019).
- (14) H. Abe, A. Matsunaga, H. Watanabe, N. Toda, K. Shigeta, K. Kaji, Y. Saito, Y. Tsukimura, Sagittal spinopelvic alignment in the standing position associated with low back pain in patients with knee osteoarthritis. *Kitasato Med J.* 48, 9–15 (2018).
- (15) A. K. Lange, B. Vanwanseele, M. A. Fiatarone Singh, Strength training for treatment of osteoarthritis of the knee: a systematic review. *Arthritis Rheum.* 59, 1488–1494 (2008).
- (16) A. E. Mikesky, S. A. Mazzuca, K. D. Brandt, S. M. Perkins, T. Damush, K. A. Lane, Effects of strength training on the incidence and progression of knee osteoarthritis. *Arthritis Rheum.* 55, 690–699 (2006).
- (17) 成瀬悟策, 動作療法 まったく新しい心理療法の理論と方法 (誠信書房, 2000).
- (18) 長谷川明弘, 木津直昭, 佐々木空, 森山剛, 陶テイ, 中村俊, in 電気学会研究会資料. IM= The papers of technical meeting on instrumentation and measurement, IEE Japan (電気学会, 2020), vol. 2020, pp. 55–58.
- (19) Z. Cao, G. Hidalgo, T. Simon, S.-E. Wei, Y. Sheikh, OpenPose: Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation Using Part Affinity Fields. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* 43, 172–186

(2021).

- (20) S. J. Jones, J.-M. M. Miller, in StatPearls (StatPearls Publishing, Treasure Island (FL), 2021).