

歩行と姿勢の介入プログラム設計評価のための身体センシングに基づく状態像可視化手法

廣濱 聡希¹ 村橋 遼¹ 島尾 青空¹ 國島 明德¹ 小俣 敦士¹ 桐山 伸也¹

概要: 歩行と姿勢の状態改善は心身健康な生活を送るために重要である。本稿では、筆者らが開発を進めている歩行と姿勢に着目した運動介入プログラムの設計開発評価のための、身体センシングを活用した状態像理解の方策について述べる。介入プログラムを監修する専門家と協業し、専門家による介入評価の深化に役立つ特徴量可視化ビューアを設計開発した。複数名の被験者による介入プログラムの実践を通して、参加者一人ひとりの運動前後の短期的変化と複数回に亘る長期的変化を可視化し、ビューアの有無で専門家の介入評価コメントがどのように異なるかを検証した。その結果、開発ビューアの活用により新たな観点でのコメントを多く引き出し、介入プログラムの改善に繋がる有益な知見を多数獲得できた。

1. 序論

姿勢の異常は筋力の低下や疲れやすくなりやすい体になるなど身体に悪影響を及ぼす可能性が高い。また、文部科学省によると幼年少期における歩行や姿勢がその後の体力的な自信、肯定感、精神力に影響を及ぼすことが分かっている[1]。また、幼年少期の身体的な活動の減少が世界的な共通問題としても取り上げられている[2]。

筆者らはこの観点から、幼年少期からの歩行と姿勢の正常化を重視し、専門家と協業して運動介入プログラムの設計開発評価を進めている。筆者らが主宰する静岡大学ケア情報学研究所では、石川県加賀市と「AIを活用した健康長寿のまちづくり」に向けた連携協定を締結しており、複数のプロジェクトを推進している。本研究は連携協定の枠組みで実施される「歩行と姿勢の状態理解像と運動プログラム開発」の共同研究プロジェクトである。

運動介入プログラムを監修する専門家は、自らの経験に基づき個人の状態に合わせてプログラムをカスタマイズし、一人ひとりに最適化した介入を提供し、歩行と姿勢の状態改善を実践してきた。このエキスパートの主観に基づく介入知をデータに基づいて客観化する仕組みを実現するのが本研究の目的である。エキスパートが持つ介入スキルの客観化を目指す研究が数多く進められている[3][4]。本稿では、運動時及び運動前後の身体状態を複数のセンサを用いてデータ化し、状態理解に役立つ特徴量を吟味し適切に可視化できるビューアを設計開発し、運動プログラムの実践を通して効果検証を行った結果について述べる。

2. 歩行と姿勢の評価のための身体センシング

身体センシングビューアに仕様した歩行と姿勢において必要なデータの説明と運動プログラムにおける各センシング機器での計測タイミング運動プログラムの概要などの分析の枠組みについて述べる。

2.1 使用データ

身体情報を得るために使用した身体センシング機器はVicon(高解像度 9 軸加速度センサ)[5]、MiruBoard(簡易姿勢動作評価システム)[6]、InBody(体成分分析装置)[7]の三種類を使用しデータ蓄積を行った。以下にそれぞれの身体センシング機器の取得可能データと採用目的を示す。

• Vicon

3 軸加速度、3 軸角速度、3 軸方位センサの機能を持つセンサで体の動きをリアルタイムでフィードバックすることに使用されている [8]ので、運動後の関節可動域の測定に活用する。

• MiruBoard

静止立位、前屈/後屈、左右側屈及び前方、左右リーチ動作などが一連の流れで計測可能であり、COP 軌跡(足圧中心軌跡)を解析することは身体運動を力学的に理解する上で有用であるので [9][10]姿勢や左右のバランスの評価に使用できる。

• InBody

体を構成する基本成分である体水分・タンパク質・ミネラル・体脂肪などを定量的に分析することが可能なセンシング機器であり、個人ごとの体成分の特徴を一覧表示するために使用する。

また、ビューア作成にあたって各身体センシング機器をどのように測定に関して、運動プログラム前後の変化を測定するため、1 回の運動プログラムにつき 1 回計測した。

また、Inbody の測定データである筋肉量や体成分組織は短時間では変化が見込めないデータのため運動前のみ計測を行う。Vicon、MiruBoard で取得するデータは、関節の可動域や足圧、COP 軌跡である。これらのデータは、最初に運動プログラムの前後で変化する値であると考えられることや、桐山研究室での事前実験として行われた運動プログラムにおいて、実際に計測していく中で運動前後で変化が現れることが解明したため、1 回の運動プログラムに対して運動前と運動後の計 2 回計測した。

¹ 静岡大学 情報科学科

2.2 分析の枠組み

加賀市での運動プログラム実践の事前実験として、実際に加賀市での運動プログラムを作成する講師となっているけんごろう鍼灸整骨院の藤田憲一郎様が作成した計4回の運動プログラムを、桐山研究室の学生6名が受講した。桐山研究室の学生が受講した運動プログラムの流れとしては、運動前にあらかじめ歩行映像や先述した身体データを計測しておき、その後藤田様と ZOOM を使用したオンライン上で、運動実践を含めたミーティングを行う。最初に、人体を 25 の点でプロットしその点を線で繋ぎ骨格検出できる OpenPose[11]を使用し、骨格検出を行った歩行映像を藤田様に見せ、運動の前後でどのように歩行状態が変化したのかといったコメント収集する。その後、藤田様が考案した運動プログラムを実践していく。

ZOOM 上で、学生の運動している様子を見せ、指摘やアドバイス、それぞれの運動による効果などのコメントを収集した。プログラム内の運動を実際に対面で実施することでより細やかに観察でき、さらに的確なアドバイスを見込めることから、運動による歩行と姿勢への介入効果がより大きくなることも考えられる。

3. 身体センシングビューア設計開発

3.1 機能設計

複数回の運動プログラム実施過程の歩行状態の変化を可視化するため、運動プログラム1回ごとの短期スパンでの比較ビューアを作成し、そのビューアを各運動プログラム実施前と実施後比較を並べることによって長期スパンの比較を作成した。短期スパンでの比較は運動プログラム実施過程の次の運動プログラム作成においての一つの指標になると考えられる。長期スパンでの比較は全体を通しての比較を行うことで運動プログラムの実践における改善効果を専門家が分析し、次の運動プログラムを作成する際に使用可能であると想定している。また、2つのビューアを比較するということで、同一人物のビューア比較だけでなく、異なる人のビューアを比較することも可能である。また、このビューアを専門家に分析して、受講者フィードバックしていくことを踏まえ、具体的にどの部分が変化したのか一目で分かるよう各データを参照してコメントを入れ、自身の歩行と姿勢の改善をより体感できるようになっている。

3.2 各センシング機器のデータ表示と選定

元データから専門家との協議のもと、各センシング機器で注目するデータ項目を選定し可視化手法を設計した。ここでは、ビューアとしてデータの可視化や必要なデータの取捨選択の経緯を述べる。

3.2.1 InBody

Inbody は体成分分析データを計測できるが、ビューアに載せるうえでは体重や体水分均衡などの数値データは視覚的に分析するうえで適さないことより、グラフで表示される筋肉・脂肪、肥満指標、部位別筋肉量、体成分履歴をビューアに表示させる。

3.2.2 Vicon

Vicon では肩外転(左)、肩外転(右)、骨盤前傾、体幹前傾、肩甲骨(左)、肩甲骨(右)、肩回旋の計7か所の関節可動域を測定した。測定した数値としてのデータを分析しやすくするため関節可動域の増減を円グラフ化し、円グラフの空白部分に関節可動域の増減分の数値と運動前後での絶対値の変化の数値を表記した。以下の図1に Vicon のデータ選定と実際のビューア表示を示す。

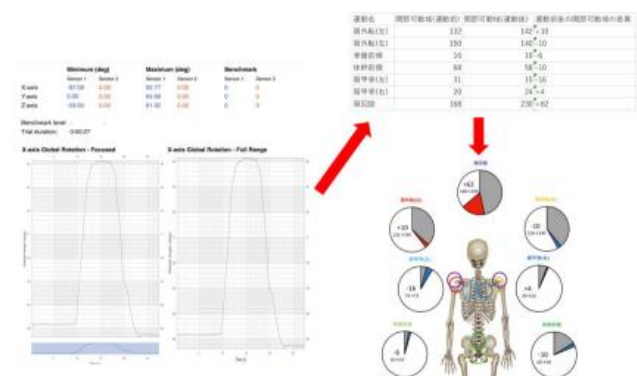


図1 Vicon の計測データと表示

3.2.3 MiruBoard

MiruBoard では測定時の人物の画像や、それぞれの姿勢における足圧画像、数値解析など多種類のデータが計測できるが、ビューアに表示するデータとしては、立位時と運動時における、前後左右へのバランスを包括することが可能な立位・圧合計分布と前後左右 COP 軌跡を表示する。

以下の図2に MiruBoard のデータ選定と実際のビューア表示を示す。

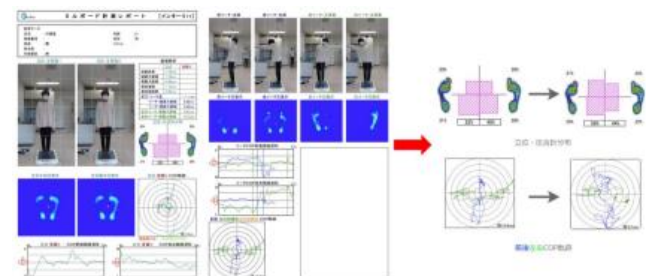


図2 MiruBoard の計測データと表示

1回目 村橋達 12/6 オンライン

図3 実際に使用したセンシングビューア



3.3 ビューアの付加情報

ビューアを用いて分析する際に各身体センシング機器のデータ以外にも

- ・運動プログラムの受講者名
- ・各センシング機器での測定日・時刻
- ・運動プログラムの受講形式

を付加情報として添付した。

これは、計測したデータは運動プログラム直前・直後に計測されておらず、受講形態もオンラインもしくはオンデマンド形式であり専門家による指摘がオンデマンド形式では行えず同条件ではないのでセンシングデータの影響を鑑みて表示した。また、同様の理由で

- ・運動プログラムの回数
- ・運動プログラムの受講者
- ・運動プログラムの前 or 後
- ・歩行映像の方向(前面, 背面, 側面)

以上の情報を歩行映像ビューアにも情報を表示した。

以下の図に実際に使用したビューアを上記の図3に示す。

4. 開発ビューアを用いた専門家による歩行状態の評価

4.1 介入プログラムの実践データに基づく歩行状態評価

実際に専門家に OpenPose を用いた骨格解析を行った歩行映像のみ見せて分析した場合と、歩行映像とビューア共に見せて分析した場合のコメントに差異が見られた。実際に専門家に見せた歩行映像が以下の図4である。



図4 実際に使用した歩行映像の例

4.2 開発ビューアの試用による専門家の評価結果

身体センシングビューアを用いて分析した際に発せられた被験者別のコメントとビューアの有無による介入コメントの違いを以下の表1に示す。

専門家による被験者別の評価コメント

(1)被験者 A

運動プログラム1回目からのコメントにて、左の足圧が弱いことから、左のつかない原因が骨盤や膝にあることが推測される。→骨盤や膝へのアプローチを行い、左右均等のリズムを作るための運動が必要ではないか。

運動プログラム4回目と比較して骨盤の軸が左右にぶれがあるが、先に膝から下が動いているが骨盤の関節可動域が増加したことによって、骨盤から動き出しが始まり、結果として膝もしっかり使われるようになった。

表 1 ビューアの有無による介入コメントの違い

被験者	ビューアなし		ビューアあり	
	コメント	観点	コメント	観点
A	骨盤が後傾しているので前に進む力が弱い	骨盤	左の足圧が弱く骨盤や膝に原因がありそう	足圧, 骨盤
	左右の軸がブレている	体の軸	運動プログラム前より骨盤の関節可動域が広がったことに膝と腿を使った歩行になった	関節可動域, 骨盤
	脚の付け根から動かせるようになった	脚の動き		
B	歩幅が狭くO脚になっている	姿勢	股関節の関節可動域が増えていてしっかり動くようになった	関節可動域, 股関節
	自然と腕を振れている	上半身		
	顎が下に弾けるようになっていて疲れにくい歩き方が出来ている	歩き方	COP軌跡の中心位置が安定して左右のバランスがとれるようになった	COP軌跡, バランス
C	体の左側だけで歩いている感じ	体のバランス	足圧のバランスが右側にも力はいっているようになっていて左右バランスが改善されている	足圧, バランス
	股関節から足を上げる意識が感じられる	脚の動き		
	猫背が改善されまっすぐになった	姿勢	肩の関節可動域が増えているのでしっかり腕が振れて歩いている	関節可動域, 上半身
	X脚のままだが歩幅が大きくなった	姿勢		

(2)被験者 B

運動プログラム 1 回目からのコメントにて、前足部に力が入っていないことや、右の足圧が弱く左側でふんばっていることがわかる、右肩の関節可動域も芳しくないことから、体が左側に傾いている。右側が動くように、足首、膝、股関節の運動が推奨される。

3 回目の運動プログラム後では、COP 軌跡の中心位置が安定し関節可動域が広がっているため左右のバランスが取れ骨盤、肩のラインが平行になりブレが少なくなった。

(3) 被験者 C

運動プログラム 1 回目で、前足部の接地が少なく、立位・圧を見ると右の足圧が弱い。COP 軌跡から前後リーチは少ないが、左右リーチはバランスがいい。

4 回目の運動プログラム後には肩の可動域の変化がよくあらわれており、肩甲骨から腕を振る歩き方が出来ている。立位圧は踵重心が前方にバランスが動かしやすくなっており、後方へのブレが改善され中心の脊柱の軸がブレなくなった。

ビューアの有無による評価コメントの違いの考察

この分析コメントからビューアにおける Vicon, データによる関節可動域の増加による骨盤、肩、脊柱の体のバランスについての情報による運動プログラム実行後の変化の分かりやすさ、MiruBoard データによる足圧・COP 軌跡からの体の無意識の傾きの情報から次の運動プログラム作成の際の参考として歩行映像と合わせて考察の裏付けになっていることが推察される。

専門家との議論から、骨盤が動かないと肩回りの運動も小さくなることや、分析コメントから、関節可動域の部位の中では、特に骨盤前傾が重要視されること、その上昇に伴って、肩回りの関節可動域にも注目していくという流れがあること、また、立位・圧合計分布への言及が多かったことから、専門家が分析をする際に前後左右の足圧バランスを歩行や姿勢の状態評価として重要視しているとい

う新たな知見のコメントが得られた。

また、ビューアの併用の有無についてどのような種類のコメントが変化したのかという観点としては、歩行映像のみの場合は被験者 A さんの左右の軸がブレているといった OpenPose を用いた骨格検出による背骨、肩、骨盤のラインの情報、歩き方の癖、歩幅に関しての言及が多く、ビューアを併用した場合、運動プログラム実施前の段階では歩行映像のみと比べて立位足圧の情報からの姿勢のバランスに関する言及がより具体的になり、運動プログラム実施後の段階では特に関節可動域のデータでは股関節や肩の歩行映像では変化が分かりにくい部分での言及が増加していた。よって専門家の股関節の可動域による良い歩き方や足圧や COP 軌跡から分かる体のバランスの状態がビューアにより詳細に分かるようになっていいると考えられる。

ビューアの追加によって運動プログラム実施前における身体データ量の増加によるより詳細な分析が可能になり、運動プログラム実施後では関節可動域、立位足圧分布といった情報から専門家が重要視されているバランスや歩き方の改善が数値として分かりやすくフィードバックされていると考えられる。

全体の介入効果として、個人ごとの運動プログラム立案に関して無意識の体のバランスの癖や歩行の重心の偏りの歩行映像と合わせて見せることで歩行状態の現状をより詳細に言及でき、また、運動プログラム内で身体センシング機器からのデータが変化しなくとも被験者の過去の病歴や怪我などを推測できるという効果も言及された。

MiruBoard の足圧データを参照しながら各個人の身体バランスの特徴を見ながら説明され、歩行映像のみより意識して運動プログラムに取り組みやすくなり、運動プログラム実践後のフィードバックにおいても Vicon の関節可動域のデータを参照しながら各部位の動きがどう改善したのかをより詳細に示すことによって介入効果として表れている

と考えられる。

また、課題としては Inbody データに基づく言及が初回を除きほとんどなく見せ方を工夫する必要があること、専門家の骨盤のバランスや前傾についての言及も多く、より注目したデータの選定を行うことで更に知見を引き出せるのではないかと考えられる。

4.3 開発ビューアに対する専門家の主観評価

専門家にビューアの評価に関する以下の4項目のアンケートに1. そうは思わない 2. ややそうは思わない 3. どちらともいえない 4. ややそう思う 5. そう思う の五段階で回答をさせた。

(1)ビューア自体の配置や見やすさは添付画像の様式で良いか 5

(2)ビューアにおける身体情報のデータ量は適当か 4

(3)複数の機器(InBody, Vicon, MiruBoard)のデータを組み合わせたビューアを見ることで、歩行における指導に役立てられそうか 5

(4)ビューアと歩行映像を組み合わせて見ることで新しい気づきがあったか 5

アンケート結果から新たな観点でのコメントが運動プログラム作成の際に一つの指標となることが分かった。

5. 結語

本研究では健康改善のための運動介入プログラムの実践データの特徴をマルチモーダルに捉えることができるビューアを設計開発した。開発ビューアの実証評価を通して、プログラムを監修する専門家による新しい観点の介入コメントを引き出し、介入プログラムの改善につながる新しい知見が獲得できたことを示した。開発ビューアは、骨盤、背骨の軸や下半身だけでなく上半身の肩のラインや腕の振りといった専門家の視点を新たに発掘したことが分かり、関節可動域のデータと立位足圧分布の関連度が高いなど、今後の運動プログラム改善に向けた種々の知見を獲得できた。今後は、連携協定を結ぶ加賀市において市民向け運動介入プログラムを設計し、実践評価を進める。

謝辞

本文を執筆するにあたり、歩行と姿勢プロジェクトに携わっていただいた けんごろう鍼灸整骨院 藤田憲一郎様に心から感謝いたします。

参考文献

- [1] 文部科学省 幼児期運動指針ガイドブック 2章 「幼児期における身体活動の課題と運動の意義」
https://www.mext.go.jp/component/a_menu/sports/detail/_icsFiles/afiedfile/2012/05/11/1319748_5_1.pdf.
- [2] Ian Janssen 2007. Physical activity guidelines for children and youth 2007 98, S109-S121 DOI: 10.1139/H07-109.
- [3] 北村 勝朗, 永山 貴洋, 山内 武巳 (2010) 優れた指導者は指導場面でどのような見通しと判断に基づき指導を行っている

のか?: エキスパート・スノーボード指導者を対象とした「行為の中の省察」の質的分析 体育心理学,一般研究発表抄録 03心-3P-P48.

- [4] 丸岡 直子, 鈴木 みずえ, 水谷 信子, 谷口 好美, 岡本 恵理, 小林 小百合 (2018) 認知症看護のエキスパートによる転倒予防ケアの臨床判断の構造とプロセス,日本転倒予防学会誌 5 巻 1 号 p. 65-79.
- [5] VICON モーションキャプチャ 三次元動作分析システム <http://www.vicon.jp>.
- [6] MiruBoard インターリハ <https://www.irc-web.co.jp/miruboard>.
- [7] 体成分分析装置 Inbody <https://www.inbody.co.jp>.
- [8] 瀧上 秀威, 腰野 富久, 斎藤 知行, 他 (1996,10), 3次元動作解析装置 VICON を用いた内側型変形性膝関節症患者の膝の歩行時側方動揺,日本臨床バイオメカニクス学会誌 (1340-9018)17 巻 p.213-217.
- [9] 江戸 優裕, 西江 謙一郎, 根本 伸洋, 中村 大介(2013),歩行時の足圧中心軌跡と距骨下関節の関係,第 48 回日本理学療法学会大会 抄録集 Vol.40 Suppl. No.2.
- [10] 堀本 ゆかり(2009) 青年期正常歩行の足圧中心軌跡に影響を及ぼす要因分析 理学療法学 Supplement 2009 A3O1002.
- [11] 中井 真人, 角田 善彦, 孫 財東, 村越 英樹, 林 久志, 網代剛 (2018) OpenPose によるバスケットボール投入予測 人工知能学会 p.435-446.