

令和 7 年度 卒業論文

骨格情報と大規模言語モデルを用いた
個別対応型姿勢評価の提案

指導教員

岡部 誠 准教授

提出者

50016010 桂 陸登

提出日

2025 年 8 月 4 日

目次

第1章	はじめに	4
第2章	関連研究	6
2.1	姿勢推定・形状推定	6
2.2	様々な応用例	7
第3章	提案手法	9
3.1	システムの概要	9
3.2	MediaPipe	9
3.3	骨格座標の保存	10
3.4	ChatGPT による姿勢評価のためのプロンプト	10
3.5	実装	11
第4章	結果と考察	13
4.1	本システムによる姿勢評価の出力結果と考察	13
4.2	ユーザスタディ	15
4.2.1	実施手順	15
4.2.2	アンケートによる評価	15

第5章 まとめと今後の展望	18
謝辞	19
参考文献	20
付録	22
ユーザごとの評価結果とアンケートの回答内容	22

第1章 はじめに

近年、パソコンやスマートフォンの普及により、長時間にわたって同じ姿勢で作業を行う機会が増加している。特に在宅勤務やオンライン授業の普及に伴い、デスクワーク中心のライフスタイルが一般化しつつある。このような状況の中、猫背や前傾姿勢などの悪い姿勢が慢性的な肩こりや腰痛、椎間板ヘルニアといった健康被害の原因となることが報告されている[1]。そのため、日常的に自分の姿勢をモニタリングし、必要に応じて姿勢を修正することの重要性が高まっている。

姿勢の評価を行う手法としては、専門家による視診や、センサースーツ・加速度センサなどを用いた計測[11]が一般的である。しかし、これらの方法は高価であったり、装着は複雑であるといった課題を抱えている。そこで近年注目されているのが、カメラ映像から人の骨格座標を取得し、姿勢を自動的に評価する方法である。特に、OpenPose[2]やMediaPipe[3]などの骨格推定技術の発展により、一般的なカメラ映像からリアルタイムで骨格座標を取得することが可能になってきている。なお、本研究の初期段階では、ChatGPT[4]に2枚のWebカメラ画像(図1)を与え、自然言語によって姿勢評価を行う方法も試みた。しかし、評価結果(図2)は抽象的かつ曖昧な表現にとどまり、再現性や基準の明確さに欠ける傾向があった。これにより、定量的かつ安定した姿勢評価の実現には、骨格座標に基づく客観的な手法の導入が不可欠であると判断した。そこで本研究では、MediaPipeを用いた骨格推定によって姿勢を定量的に把握し、より明確な評価基準を構築する方針を採用した。

また、これまでの研究の多くは、身体の側面や後方からの映像を用いて姿勢を評価する手法が主流であった。しかし、一般的なノートパソコンやデスクトップパソコンに搭載されているWebカメラはユーザーの正面に設置されており、側面や後方からの撮影は複数台のカメラが必要となり現実的でない場合が多い。したがって、正面からの映像のみを利用して姿勢評価を行う手法の確立は、実用的な姿勢モニタリングシステムの開発において重要な課題である。判定の手法についても、多くは一律の基準によって姿勢の良し悪しを判定しており、個人差を考慮していない。これにより、無理に一般的な良い姿勢に合わせようとし、かえって身体を痛めてしまうことも考えられる。

本研究では、Webカメラのみでユーザ自身の理想の姿勢の骨格情報を取得し評価の基準とする、個人差に対応した姿勢改善システムの構築(図3)を目的とする。本研究の成果により、専門的な機器や知識がなくとも、誰もが手軽に自身の姿勢を評価できる環境の実現が期待される。実際にユーザスタディを行い、高い評価を得た。これについては第4章で詳しく説明している。

本論文では、まず第2章において関連研究について概観し、次に第3章で本研究におけるシステムの構成と姿勢判定のアルゴリズムについて述べる。第4章では本システムの評価の結果と考察を示し、第5章で本研究のまとめと今後の課題について述べる。最後に、提案

システムを用いたユーザスタディのユーザごとの結果を付録として記載する。

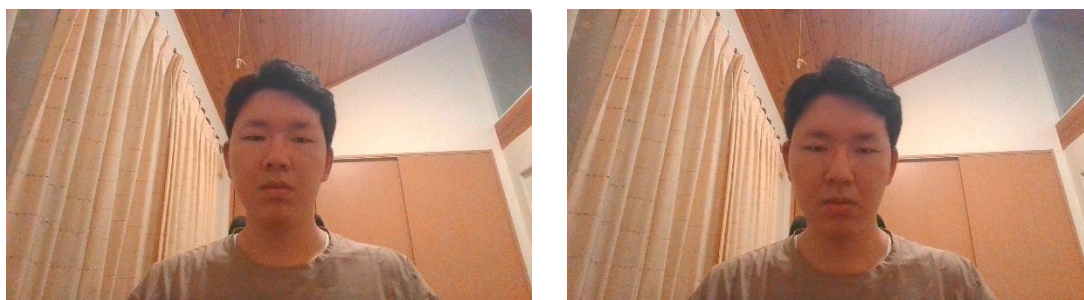


図1 ChatGPT に入力した画像：評価の基準の画像(左)と評価の対象の画像(右)

 **姿勢の問題点（2枚目の画像）**

- 1. 頭部の位置と角度の変化**
 - 変化：頭部がわずかに前傾・前方移動しています。
 - 問題点：この状態は「フォワードヘッド（頭部前方姿勢）」と呼ばれ、長期的に首・肩の負担を増やします。
- 2. 首と肩のラインの圧縮**
 - 首が縮こまり、肩との距離が狭く見えます。
 - 頭の重さが首にかかりすぎ、肩の緊張やコリの原因になります。
- 3. 視線が下がっている**
 - 視線がやや下に向いており、これは背中丸まりや猫背の兆候と一致します。
 - 姿勢全体に「やや内向きで自信がない印象」を与える場合があります。

図2 画像のみで行った ChatGPT による姿勢評価

第 2 章 関連研究

2.1 姿勢推定・形状推定

姿勢推定や形状推定の研究は多く行われている。コンピュータビジョン、人工知能、機械学習などの最新の研究成果が発表される場である CVPR にはこれらに関する論文が多く掲載されている。以下で、CVPR に掲載されたものを中心に姿勢推定の研究を紹介する。

小野寺ら[5]は、MediaPipe による姿勢推定を活用し、座位姿勢の改善支援を目的とした健康支援システムを開発した。本システムでは、取得した骨格情報から姿勢を分類・評価し、ユーザーにフィードバックを提供することで、良姿勢の維持を促す。さらに、評価結果は記録・可視化され、継続的な姿勢改善への動機づけとなる。一方で、姿勢評価の基準が限定的であり、多様な個人差や動的な動作に対応する柔軟性に課題が残る。

Jiong Wang, Fengyu Yang ら[6]は現実世界の多様な条件下での 3D 人物姿勢推定をベンチマークするための新しい大規模データセット「FreeMan」を作成した。この研究は、現在のデータセットが持つシーンの多様性の不足、行動や身体スケールの限定性、スケーラビリティの課題といった制約に対処しています。FreeMan データセットは、8 台のスマートフォンを使用して、多様なシナリオ、アクション、照明条件、および被写体をカバーし、1100 万フレームで構成されています。また、効率的なデータ収集と正確なアノテーションを可能にする半自動パイプラインを開発しました。本研究では、このデータセットを用いた単眼 3D 人物姿勢推定、2D から 3D への変換、多視点 3D 人物姿勢推定、およびニューラルレンダリングという 4 つのベンチマーク結果も提供しており、FreeMan が現実世界でのアルゴリズムの性能評価に適していることを示しています。

Yasiru Ranasinghe, Deepti Hegde, Vishal M. Patel ら[7]は、単眼カメラ画像からの 3 次元物体検出と姿勢推定を、拡散モデルを用いて実現する新しいフレームワーク MonoDiff を提案した。従来の手法では、ステレオカメラや LiDAR[8]などの追加モダリティを必要とすることが多く、コストやデータ準備の負担が課題となっていた。MonoDiff では、ガウス混合モデル (GMM) に基づく初期化と 2D 再投影規制を導入することで、追加データを使用せず単眼画像のみで高精度な 3D 境界ボックスと姿勢を推定可能とする。KITTI[9]および Waymo データセット[10]での実験では、既存の最先端手法を上回る精度を達成した。今後の課題としては、リアルタイム処理性能のさらなる向上、拡散過程の高速化、より軽量なモデル設計などが挙げられ、特に自動運転など時間制約のある応用への適用に向けた最適化が期待される。

Hang Jin ら[11]は、Azure Kinect という深度センサとアンサンブル学習を用いて、座っている人の姿勢分類と長時間座位の検出をリアルタイムで実現するシステム SitPose を提案している。対象となる姿勢は、良い姿勢・猫背・前傾・左右傾き・仰向け・立位の計 6 種類であり、センサから得られる 9 か所の上半身関節座標と、それらから計算される 9 つの

角度特徴量を用いて分類を行う。分類器には SVM, 決定木, MLP の 3 種を採用し, それらをソフト投票により統合することで精度を高めている。実験では 33,409 件のデータを用いて評価され, 精度・再現率・F1 スコアのいずれにおいても高い性能を示し, 実時間処理に対応可能であることが確認された。成果として, 実際の家庭やオフィス環境でも利用可能な姿勢検出システムを実装し, 姿勢変化のアラート機能などを含む GUI ベースの支援アプリケーションとして応用している。今後の課題としては, 身体遮蔽や照明条件など現実環境におけるセンサ精度のばらつきへの対応, 姿勢改善へのフィードバック内容の高度化, さらに学習モデルの軽量化によるエッジデバイスへの展開が挙げられる。

Yunseo Noh ら[12]は, 人物の性格 (Human Character) と体幹 (Human Core) の理解を通じて不自然な姿勢を検出する手法「H3Net」を提案した。H3Net は, 従来の姿勢推定手法が 3D 関節情報や単純な姿勢ラベルに基づいていたのに対し, 人間の体幹軸の安定性やキャラクター性 (動き方の傾向) を加味することで, 異常姿勢の文脈的理解を実現している。モデルは Transformer ベースで構成されており, 空間・時間・身体構造の各次元から特徴を抽出し, 不自然な動作や異常姿勢を高精度に検出する。実験では, 異常姿勢検出のベンチマークデータセットで既存手法を上回る性能を達成した。今後の課題としては, 多様な性格や動作傾向を持つ個人への適応性や, 日常的な軽微な異常検出への対応が挙げられる。

Shanxin Yuan ら[13]によると, 本研究では拡散モデル (Diffusion Model) を用いたマルチ人物姿勢推定手法「DiffusionRegPose」を提案している。従来の姿勢推定手法は検出と回帰を個別に行っていたが, 本手法は拡散過程を通じて人物位置と 3D 姿勢を同時に推定するエンドツーエンドなアプローチを特徴とする。Human3.6M[14]や CMU Panoptic[15]など複数のベンチマークで高精度な推定性能を示し, 従来手法を上回る結果を達成した。一方で, 拡散過程に要する計算コストや推論速度の課題が残っており, 実時間処理への応用にはさらなる最適化が求められる。

2.2 様々な応用例

近年, カメラを用いない姿勢推定も行われている。カメラ映像の代わりに信号や RGB-D 映像などを用いて姿勢推定を行っている研究や姿勢推定を応用した技術の研究について紹介する。

Kangwei Yan ら[16]は, Wi-Fi 信号 (CSI: Channel State Information) を活用して, 複数人物の 3 次元姿勢を推定するエンドツーエンドの手法を提案している。従来の姿勢推定は RGB カメラや LiDAR[8]に依存する傾向があったが, 本手法は光の影響や視界遮蔽に強く, プライバシー保護の観点でも有利な Wi-Fi 信号を用いる点が新規性である。提案モデルは, CSI 信号を受信した 2 次元マップを入力とし, 空間特徴を抽出するバックボーンと, 人物の 3D 位置とキーポイントを推定する Pose Estimator で構成される。損失関数には, Heatmap Loss, Depth Regression Loss, およびスケルトン構造に基づく Pose Loss を統合し, 人物の

構造的ー貫性を考慮している。さらに、姿勢推定の精度を高めるために、複数 Wi-Fi アンテナの信号を統合するマルチチャネル処理も導入されている。実験では、リアルな屋内環境で撮影された RGB 映像と CSI 信号からなる Wi-Pose データセットを構築し、最大 3 人までのマルチパーソン 3D 姿勢推定を高精度に実現している。今後の課題としては、より複雑な動作への対応、デバイス間の汎化性能向上、およびリアルタイム性の強化が挙げられる。

Zhou ら[17]は、RGB-D 画像から未知物体の 6D 姿勢を推定する手法として「MatchU」が提案した。MatchU は、事前に 3D モデルを用意することなく、RGB-D 画像とクエリ画像間の特徴点をマッチングし、それに基づいて物体の 6D 姿勢（位置・姿勢）を推定できる点に特徴がある。姿勢の推定には、対応点の幾何関係を活用した変換行列の推定が用いられる。NOCS-REAL295 や YCB-Video データセット[18]を用いた評価では、既存手法と比較して高い精度を示した。一方で、遮蔽や背景の複雑さ、物体形状の類似性が高い場合には、マッチング精度が低下しやすく、こうした状況下での頑健性向上が今後の課題として挙げられている。

Longteng Kong ら[19]によると、本研究では、カメラの内部パラメータやキャリブレーション情報が存在しない状況でも、複数視点の画像から人物の位置と姿勢を正確に登録するための枠組みが提案されている。提案手法は、Bird's Eye View (BEV) 空間上における人間の空間的分布と、各カメラの相対的な構成を同時に最適化する点に特徴がある。従来の 3D ポーズ推定手法がカメラキャリブレーションに依存していたのに対し、本研究はキャリブレーション不要の柔軟な環境構築を可能にし、屋外や設置制限のある現場での応用性を高めている。Human3.6M[14]や Panoptic[15]などの大規模データセットで高精度なポーズ推定を実現した点も成果の一つである。一方で、推定精度は初期化精度や人数密度に影響されるため、多人数・密集環境下での頑健性や拡張性が今後の課題として挙げられる。

Wang ら[20]は、3D 人体メッシュ復元の精度向上を目的として、姿勢変換に着目した新手法「PostureHMR」を提案した。本手法は、入力画像の姿勢を標準姿勢（canonical pose）に変換することで、HMR（Human Mesh Recovery）モデル[21]の不確実性を低減する。具体的には、回転情報を表現する SMPL パラメータ空間において、Transformer ベースの姿勢変換モジュールを導入し、安定かつ高精度なメッシュ再構成を実現している。実験では、既存の手法と比較して、複雑なポーズや視点変化に対しても高い再現性を示した。一方で、標準姿勢への変換を前提とするため、極端なポーズや学習外分布への一般化には課題が残る。

Xu ら[22]は、レンズレスイメージング環境下での人体姿勢および形状推定を可能にするエンドツーエンド手法「LPSNet」を提案した。本手法は、レンズを用いない画像から人体の 3D ポーズとメッシュ形状を復元するもので、光線再構成と HPS (Human Pose and Shape) 推定を統合した構造を特徴とする。従来困難とされていたレンズレス画像からの高精度推定を実現し、新たな応用可能性を示した。一方で、再構成精度は照明条件や装置配置に依存しやすく、現実環境への一般化には課題が残る。

第 3 章 提案手法

3.1 システムの概要

本研究では，ユーザが自身の理想とする姿勢を基準として保存し，30 分後に保存した姿勢と比較することで，姿勢の変化や崩れを検出，指摘するシステムを提案する．システム起動時，Web カメラを起動する．ユーザはまず座った状態で自身が維持したいと思う姿勢をとり，Enter キーを押す．すると，MediaPipe により Web カメラの映像のみから Json ファイル形式で骨格座標が保存される．それから 30 分後，評価の対象となる姿勢の骨格座標の保存が行われる．最後に，維持したい姿勢，評価する姿勢の骨格情報とプロンプトを ChatGPT に送信し，姿勢の判定と改善案を出力する．以降，30 分経過する度に評価する姿勢は自動で更新され，維持したい姿勢との比較評価が繰り返される．以下，図 1 はシステムの概要図である．



図 3 システムの概要図

3.2 MediaPipe

本節では，姿勢判定のための骨格座標の取得に用いる MediaPipe について紹介する．MediaPipe は Google によって開発されたオープンソースのマルチモーダル機械学習パイプラインであり，特にリアルタイムな骨格検出や手・顔のランドマーク検出などにおいて高い精度と処理速度を誇る[23]．

本研究では，MediaPipe の Pose モジュールを用いて，Web カメラ映像から 33 点の骨格ランドマーク（図 4 左）[24]をリアルタイムで取得し，姿勢評価の基礎データとして活用している．図 4 右は Web 映像に対して適用した例である．Pose モジュールは人物の頭部・肩・胴体・四肢に対応する各関節の 3 次元座標を，映像からフレームごとに取得する機能を備えている．Web カメラのみで骨格情報を得られ，処理速度が速いため，本研究における骨格特徴量の抽出に適していると考え，採用に至った．

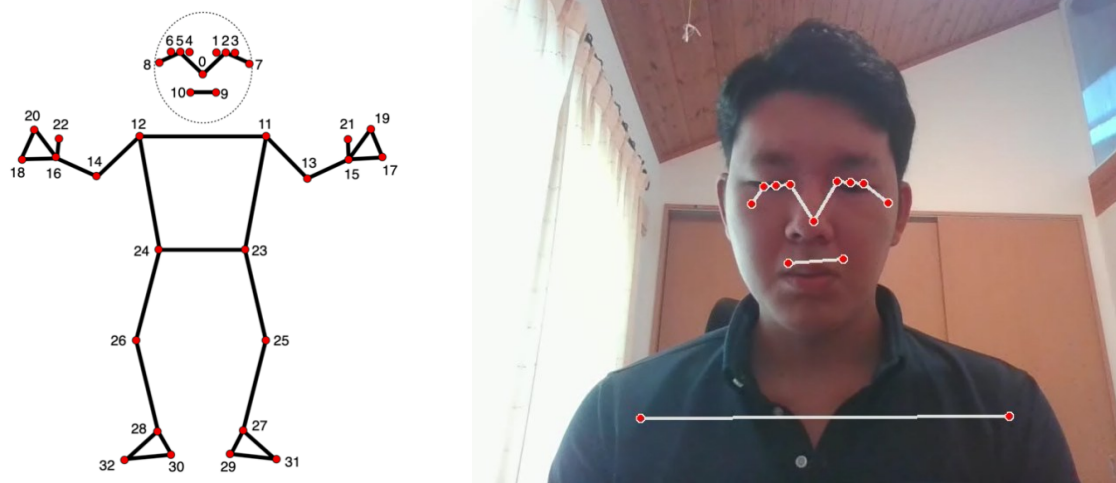


図4 Pose モジュールの骨格ランド
マーク（左）と実際の適用例（右）

3.3 骨格座標の保存

骨格座標の保存は、ユーザが任意のタイミングで維持したい姿勢を登録することから始まる。具体的な流れについて説明する。まず、ユーザは理想の姿勢を取り Enter キーを押すことで任意のタイミングで維持したい姿勢の保存を行う。座標を保存する時間は 30 秒間で、1 秒間につき 30 フレーム、つまり 900 フレーム分の座標の数値データを保存する。そして、基準座標の保存から 30 分後、自動で評価する姿勢の保存が行われる。評価する姿勢も MediaPipe により 1 フレーム毎に骨格情報を保存する。

なお、姿勢の評価には 900 フレーム全てを比較するのではなく、各部位の x 座標, y 座標, z 座標それぞれの中央値を計算し、維持したい姿勢の中央値と評価する姿勢の中央値を比較することで姿勢の評価を行う。ここで、中央値を用いるのは、平均値に比べ外れ値に強いからである。これにより、30 秒の姿勢保存中に大きな動きをしてしまっても、評価に大きな影響が出ないようにになっている。

3.4 ChatGPT による姿勢評価のためのプロンプト

本システムでは、3.3 にて保存された維持したい姿勢および評価する姿勢の骨格情報とプロンプトを ChatGPT に送信し姿勢の評価を受けとる。図 5 は送信したプロンプトである。

図 5 のプロンプトの構成について説明する。1 段落目では ChatGPT に姿勢の専門家として MediaPipe による骨格座標データを判定するよう指示している。2 段落目では、ChatGPT に入力されるデータを明示している。3 段落目では、評価内容に姿勢のずれの程度、ずれている部分の特定、改善案の提示を含めるよう指示している。4 段落目では、評価に用いる骨格情報の範囲を指定している。システムを試運転していたところ、評価結果で膝について言

及が行われたことから、図 2 左の 0~22 の関節の骨格情報のみを評価に用いることとした。最後の段落では、日本語で出力するよう指示している。

```
system_prompt = """"You are a professional posture correction expert.
Based on 3D body landmark coordinates from MediaPipe, analyze the posture of a person.

You are given two sets of time-series 3D landmark data:
one is a 'ideal (comfortable)' posture and one is the 'current target' posture.

Compare them and:
1. Evaluate how much the target posture deviates from the ideal one.
2. Identify specific joints or body parts that are misaligned.
3. Suggest clear and simple posture improvements.

Only use landmark points with IDs from 0 to 22.
Do not use any landmarks above ID 22 — this includes hips (IDs 23 and 24),
knees, ankles, and feet. Ignore those points entirely in your analysis.

Only give practical advice. Output in Japanese.""
```

図 5 座標データの評価に用いたプロンプト

3.5 実装

本章では本システムの実装について説明する。まず、システムの実行は Windows 11 を搭載した Intel Core i7 (第 11 世代) ノートパソコン上で行った。メモリは 16GB、GPU は非搭載 (または内蔵 GPU) であり、すべての処理は CPU 上で実行された。また、使用したプログラミング言語は Python3.10 である。

骨格情報の取得に関する実装を説明する。はじめに、OpenCV ライブラリを用いて Web カメラを起動し、映像を 1 フレームずつ取得する。次に、MediaPipe の solutions.pose モジュールを用いて、姿勢推定用の Pose モデルを初期化し、各フレームに対して骨格推定を実行する。これにより全身で 33 点の関節の 3 次元骨格情報を取得し、JSON 形式で保存する。実際には保存は 30 秒間行われ、1 秒につき 30 フレームあることから、1 回の保存で 900 フレーム分の骨格情報が保存されることとなる。評価の際には、各関節の 3 次元の座標(x, y, z)それぞれの 900 フレーム分の中央値を抽出する。平均値より、大きな動きや保存中の離席など外れ値に対して頑健であるため、中央値を評価に取り入れる。中央値を抽出する処理は関数を用いて行い、維持したい姿勢、評価する姿勢それぞれの骨格情報の中央値を ChatGPT に送信して姿勢評価を行う。

姿勢の評価には、OpenAI が提供する ChatGPT API を活用している。先ほど述べた姿勢の中央値を読み取り、プロンプトと共に API に送信することで、姿勢の変化や改善点に関するフィードバックを自然言語でターミナル上で取得する。最後に、30 分ごとに評価する

姿勢を更新し，維持したい姿勢との比較評価を行うようループ処理を行っている．なお，API の利用にはインターネット接続と OpenAI の API キーが必要であり，プログラム実行前に適切に設定しておく必要がある．

第4章 結果と考察

4.1 本システムによる姿勢評価の出力結果と考察

本章では、本システムにて出力された判定結果について紹介する。本システムでは動画の保存は行わないため、実際には以下のような画像が出力されることはないが、参考のため揭示する（図6）。図6は維持したい姿勢と評価する姿勢の骨格情報の保存と同時に撮影したWebカメラ映像から切り抜いた画像である。左に比べ右の画像の方がやや前傾姿勢になっていることが分かる。

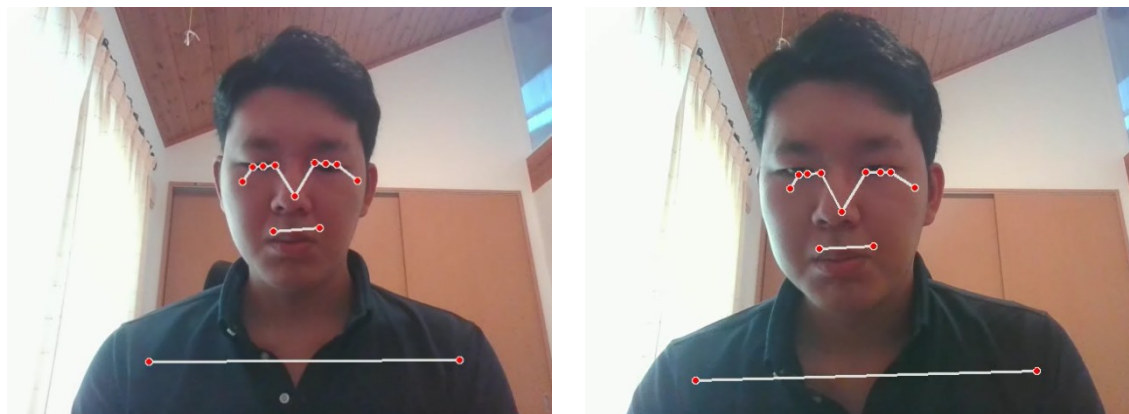


図6 維持したい姿勢（左）と評価する姿勢（右）

次に、図6の姿勢を本システムを用いて比較した結果を説明する。

まずは、維持したい姿勢（理想の姿勢）と評価する姿勢（現在の姿勢）のずれについて出力される（図7）。内容を見ると、背中と肩の高さについて、「現在の姿勢では、肩が理想の位置よりもかなり前方に出ています。特に、上半身全体が前傾しており、肩が丸まった状態になっています。これにより、背中が丸くなり、猫背のような姿勢になっています。」と出力されている。図6の画像を見ると、上半身が前傾しており評価が正しいことが分かる。このように画像のみでは分かりづらい変化を、3次元の座標で傾き等を計算することで本システムでは評価することができた。続く頭の位置、腰の位置と傾き、腕の位置についても同様に、図6のような画像では分かりづらい変化を捉えられていることが分かる。

✓ **Evaluation result (in Japanese):**
理想の姿勢と現在の姿勢を比較した結果、次のような問題点が見受けられます。

1. ****背中と肩の高さ**:**
 - 現在の姿勢では、肩が理想の位置よりもかなり前方に出ています。特に、上半身全体が前傾しており、肩が丸まった状態になっています。これにより、背中が丸くなり、猫背のような姿勢になっています。
2. ****頭の位置**:**
 - 頭が前に突き出ていることが確認できます。この前方頭位の姿勢は、首や肩に余計な負担をかける可能性があります。
3. ****腰の位置と傾き**:**
 - 腰のランドマークは使用できませんが、全体的な上半身の傾きから、腰が理想的な位置よりも後ろに引かれていることが推測されます。
4. ****腕の位置**:**
 - 現在の姿勢では、腕が体の側面に寄りすぎているため、自然な位置からずれていることがわかります。

図7 部位ごとの姿勢のずれ

改善のためのアドバイスは図8のような出力となった。内容を見ると、肩甲骨を引き寄せるというトピックには、「背中の肩甲骨を軽く引き寄せるように意識し、肩を後ろに引くことで、自然な肩の位置を取り戻すことができます。」とあり、改善に向けた具体的な身体の動かし方が出力されていることが分かる。頭の位置を正す、胸を開く意識のトピックについても的確な指示が出力されており、姿勢改善の参考になったといえる。また、定期的なストレッチを促す出力もあり、姿勢の悪化を予防する意識を高めている。

****改善のためのアドバイス**:**

- ****肩甲骨を引き寄せる**:**
 - 背中の肩甲骨を軽く引き寄せるように意識し、肩を後ろに引くことで、自然な肩の位置を取り戻すことができます。
- ****頭の位置を正す**:**
 - 頭をまっすぐにし、耳が肩の真上に来るように意識してください。これにより、首や肩の負担を軽減できます。
- ****胸を開く意識**:**
 - 胸を開くように意識し、肩を下げることで、上半身をリラックスさせることができます。
- ****定期的なストレッチ**:**
 - 特に肩、首、背中のストレッチを取り入れ、姿勢を改善し、凝りを解消することが重要です。

これらの改善策を日常生活に取り入れることで、理想的な姿勢に近づけることが可能です。姿勢を意識し続けることが重要ですので、日々の生活の中で意識的に取り組んでください。

図8 部位ごとの改善案

最後に図7，図8の結果に対する考察を述べる．図7の結果より，図6のような画像だけではしづらい評価を，3次元座標を用いて正しく評価できていることが分かった．図8では部位ごとの改善の動きが事細かに出力され，実際に行うことで参考になることを確認した．

また，本研究がパソコン作業中の姿勢の変化を対象に評価していることで，4.2で紹介するユーザスタディでもほとんどのユーザが上半身が前に傾いているという評価が出たが，「肩甲骨を寄せましょう」のような決まった形で出力されることはなく，個人にあった改善の動きが出力されていることが分かった．

4.2 ユーザスタディ

提案システムの有用性および使用感を評価するために行ったユーザスタディを行った．本章ではその実施方法，得られた結果，および考察について述べる．

4.2.1 実施手順

被験者は計8名であり，全員が日常的にパソコン作業を行う大学生または大学院生である．ユーザスタディは以下の手順で実施した．

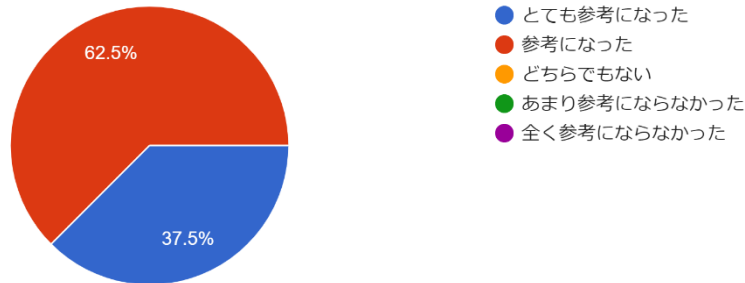
1. 動画の収集：各被験者には，通常のパソコン作業を30分間行い，その間Webカメラで自身を撮影した動画を提出してもらった．
2. 評価の実施：提出された動画の冒頭30秒および終盤30秒を抽出し，本システムと同様の評価基準に基づき，姿勢の変化や改善点を自動で解析した．評価結果はテキストファイル形式で被験者に返却された．
3. アンケート調査：被験者は，返却された評価結果を確認した後，アンケートに回答した．アンケート項目は以下の2種類である．
 - ・ 5段階評価項目（1=全くそう思わない～5=とてもそう思う）
 - 判定結果の指摘は参考になったか
 - 改善案を試して役に立ったか
 - 実用性はあると思ったか
 - ・ 自由記述項目
 - 本システムを使用して感じたこと，改善点など

4.2.2 アンケートによる評価

アンケートの集計結果について説明する．以下は5段階評価の結果である．

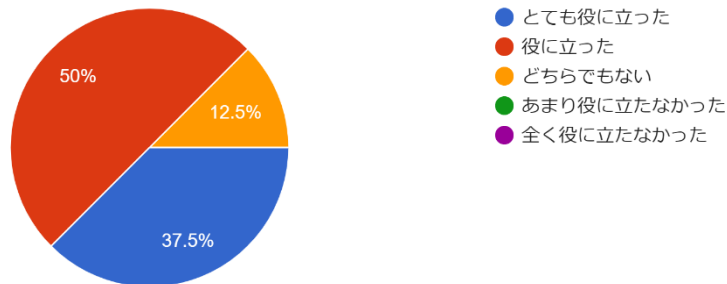
判定結果の指摘は参考になりましたか？

8 件の回答



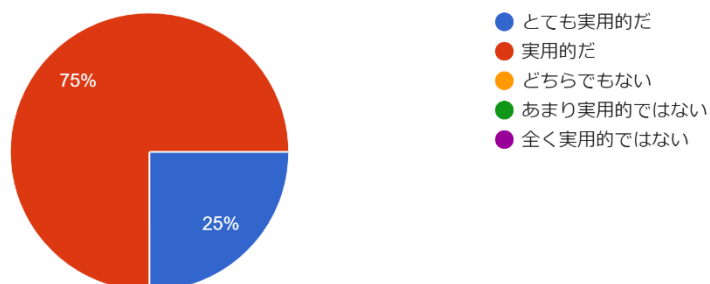
改善案を試して役に立ちましたか？

8 件の回答



実用性はあると思いましたか？

8 件の回答



これらを見ると、被験者に対する本システムの姿勢の評価、改善案が役に立ち、実用性があることが分かる。

また、自由記述による意見からは以下のようなポジティブな傾向が見られた：

- どこが、どのようにずれているのかが的確に出力されている。また、改善の提案に関して、「肩甲骨を寄せるイメージを持つと良い」のように、具体的な改善案で、わかりやすいと感じた。ノートパソコンのカメラで、実際は自動でやってくれるそう

なので、実用的なシステムだと感じた。

- これがリアルタイム（30 分ごと）に知らせてくれるのはデスクワークが多くなる社会人とか大学生にとっては役に立つと感じた。
- 改善のアドバイスなどは、とても分かりやすく実践しやすいと思いました。
- 指定されている点や改善案は納得できるものが多かった

一方で、一部のユーザからは、「テキストだけ表示されて、リラックスした姿勢と現在の姿勢の差異を言われてもピンとこなかった。それぞれの代表的な画像も一緒に載っていると、確かにそうになっているかどうか判断できると思う。」や「1. 姿勢の逸脱評価と 2. 具体的なずれのある関節や部位において現在の姿勢が真逆の評価をされていてどちらが正しいのか不明な部分がありました。AI の回答に一貫性がないのがまだ改善点としてあげられるのではないかと思います。」のような意見もあり、改善案の視覚的な出力や AI の一貫性について考える必要性を感じた。

第 5 章 まとめと今後の展望

本研究では、姿勢の乱れがもたらす健康リスクに着目し、MediaPipe を用いた骨格情報の検出技術と ChatGPT API を組み合わせることで、リアルタイムかつ簡易に姿勢を評価できるシステムを提案した。本システムでは、30 秒間の姿勢データを取得し、はじめに保存する維持した姿勢とその 30 分後の姿勢を比較し、ずれと改善案の指摘を行った。システムの実行結果については、姿勢のずれについては姿勢の保存と同時に撮影した Web カメラ映像を確認することにより正しいことを評価した。また、出力された改善案についても、改善案を実行することで、参考になることを定性的に評価した。また、ユーザスタディにてアンケートを集計し、本システムに実用性があることが示せた。

本システムの課題点としては出力がテキスト形式のみであることが挙げられる。実際に、ユーザスタディのアンケートでも「テキストだけではピンと来ない」というような意見も見受けられた。また、定性的な評価しか行っていないため、AI の信頼性や評価の一貫性といった課題が残る。

今後は、改善案を 3D 人体モデルなどを用いたアニメーションとして出力することで視覚的に分かるシステムにし、日常生活で使えるアプリケーションへの応用が考えられる。また、姿勢の長期的な変化を追跡できるようなフィードバック機能や、個人の姿勢履歴を記録し、評価に活用するようなパーソナライズ機能の追加を目標としている。

謝辞

本研究及び論文の作成にあたり，研究の着想や論文執筆等，多くのご指導，ご助言をいただきました静岡大学工学部の岡部誠准教授に心から感謝申し上げます．また，ご助力いただいた修士課程学生及び学部生の皆様に深く感謝致します．

参考文献

- [1] スポーツ庁, "日本人の座位時間は世界最長「7」時間！座りすぎが健康リスクを高めるあなたは大丈夫？その対策とは・・・", DEPORTARE, 2019-10-11, <https://sports.go.jp/special/value-sports/7.html>, (参照 2025-07-20)
- [2] OpenPose, <https://cmu-perceptual-computing-lab.github.io/openpose/web/html/doc/index.html> (参照 2025-07-14)
- [3] Google AI for Developers, "MediaPipe ソリューションガイド", 2025-02-26, <https://ai.google.dev/edge/mediapipe/solutions/guide?hl=ja>, (参照 2025-07-14).
- [4] OpenAI, ChatGPT, <https://openai.com/ja-JP/chatgpt/overview/>, (参照 2025-07-14).
- [5] 小野寺 拓実, 福田 直人, 斉藤 大樹, 五十嵐 透, "姿勢推定 AI を活用した健康支援システムの開発", IEICE Technical Report, 2023.
- [6] Jiong Wang, Fengyu Yang, Bingliang Li, Wenbo Gou, Danqi Yan, Ailing Zeng, Yijun Gao, Junle Wang, Yanqing Jing, Ruimao Zhang, "FreeMan: Towards Benchmarking 3D Human Pose Estimation under Real-World Conditions", In CVPR 2024.
- [7] Yasiru Ranasinghe, Deepti Hegde, Vishal M. Patel, "MonoDiff: Monocular 3D Object Detection with Diffusion Models", In CVPR 2024.
- [8] AIST: 産業技術総合研究所, "#話題の〇〇を解説 "LiDAR"とは？ 科学の目でみる, 社会が注目する本当の理由", 産総研マガジン, https://www.aist.go.jp/aist_j/magazine/20220928.html, (参照 2025-07-28)
- [9] KIT, "The KITTI Vision Benchmark Suite", <https://www.cvlibs.net/datasets/kitti/>
- [10] WAYMO, "WAYMO Open Dataset", <https://waymo.com/open/>
- [11] Hang Jin, Xin He, Lingyun Wang, Yujun Zhu, Weiwei Jiang, Xiaobo Zhou, "SitPose: Real-Time Detection of Sitting Posture and Sedentary Behavior Using Ensemble Learning With Depth Sensor", In CVPR 2024.
- [12] Seungha Noh, Kangmin Bae, Yuseok Bae, Byong-Dai Lee, "H3Net: Irregular Posture Detection by Understanding Human Character and Core Structures", In CVPR 2024.
- [13] Dayi Tan, Hansheng Chen, Wei Tian, Lu Xiong, "DiffusionRegPose: Enhancing Multi-Person Pose Estimation using a Diffusion-Based End-to-End Regression Approach", In CVPR 2024.
- [14] Institute of Mathematics of the Romanian Academy, "Human3.6M Dataset", <http://vision.imar.ro/human3.6m/description.php>
- [15] CMU Panoptic Dataset, "CMU Panoptic Dataset",

<http://domedb.perception.cs.cmu.edu/>

- [16] Kangwei Yan, Fei Wang, Bo Qian, Han Ding, Jinsong Han, Xing Wei, “Person-in-WiFi 3D: End-to-End Multi-Person 3D Pose Estimation with Wi-Fi”, In CVPR 2024.
- [17] Junwen Huang, Hao Yu, Kuan-Ting Yu, Nassir Navab, Slobodan Ilic, Benjamin Busam, “MatchU: Matching Unseen Objects for 6D Pose Estimation from RGB-D Images”, In CVPR 2024.
- [18] GitHub, “YCB_Video_toolbox”, https://github.com/yuxng/YCB_Video_toolbox
- [19] Zekun Qian, Ruize Han, Wei Feng, Song Wang, “From a Bird’s Eye View to See: Joint Camera and Subject Registration without the Camera Calibration”, In CVPR 2024.
- [20] Yu-Pei Song, Xiao Wu, Zhaoquan Yuan, Jian-Jun Qiao, Qiang Peng, “PostureHMR: Posture Transformation for 3D Human Mesh Recovery”, In CVPR 2024.
- [21] Axross Recipe, “HMR2.0(4D Humans)を用いて 3D Human Mesh で人物を追跡するレシピ”, <https://axross-recipe.com/recipes/1176>
- [22] Haoyang Ge, Qiao Feng, Hailong Jia, Xiongzheng Li, Xiangjun Yin, You Zhou, Jingyu Yang, Kun Li, “LPSNet: End-to-End Human Pose and Shape Estimation with Lensless Imaging”, In CVPR 2024.
- [23] Camillo Lugaresi, Jiuqiang Tang, Hadon Nash, Chris McClanahan “MediaPipe: A Framework for Building Perception Pipelines.” arXiv preprint arXiv:1906.08172, 2019.
- [24] Google AI for Developers, “姿勢ランドマーク検出ガイド”, 2025-01-13, https://ai.google.dev/edge/mediapipe/solutions/vision/pose_landmarker?hl=ja, (参照 2025-07-14)

付録

ユーザごとの評価結果とアンケートの回答内容

・ユーザ1

評価結果

=== Evaluation: median_pose ===

1. **姿勢のずれの評価**:

- 現在の姿勢は、維持したい姿勢に比べて、全体的に少し前方に傾いています。特に、頭部や肩の位置が前方に移動しているため、頭部が前に出た姿勢になっています。
- 肩や腕の位置も、維持したい姿勢に比べてやや高くなっています。

2. **特定のずれた部位**:

- **頭部 (ランドマークID 0)**: 前方に位置しているため、猫背の原因となっています。
- **肩 (ランドマークID 11, 12)**: 肩が前方に出ています。このため、肩が内側に巻き込まれた姿勢になっています。
- **肘 (ランドマークID 13, 14)**: 維持したい姿勢に比べて、やや高く、外側に広がっています。

3. **姿勢改善のアドバイス**:

- **頭部の位置**: 頭を少し後ろに引き、耳が肩の真上にくるように意識しましょう。これにより、首や肩の負担が軽減されます。
- **肩の位置**: 肩を後ろに引いて、胸を開くように意識しましょう。肩甲骨を引き寄せるようにすると、自然と正しい位置に戻ります。
- **肘の位置**: 肘を体側に沿わせるようにして、自然な位置に戻しましょう。腕をリラックスさせることで、肩の緊張も和らぎます。

これらの改善を意識することで、姿勢がより自然で負担の少ない状態に近づきます。姿勢が改善されると、身体の負担も軽減され、より快適な日常を送ることができるでしょう。

アンケート内容

① 5段階評価

- ・判定結果の指摘は参考になりましたか? → 「参考になった」
- ・改善案を試して役に立ちましたか? → 「役に立った」
- ・実用性はあると思いましたか? → 「実用的だ」

② 自由記述

本システムを使用して感じたこと、改善点等を書いて下さい

「指定されている点や改善案は納得できるものが多かった。しかし、テキストだけ表示されて、リラックスした姿勢と現在の姿勢の差異を言われてもピンとこなかった。それぞれの代表的な画像も一緒に載っていると、確かにそうになっているかどうか判断できると

思う」

・ユーザ 2

評価結果

=== Evaluation: median_pose ===

ターゲット姿勢は維持したい姿勢からいくつかの点でずれています。以下に詳細を述べます。

1. **頭部と肩の位置**:

- ターゲット姿勢では、頭部（ランドマークID: 0）から肩（ランドマークID: 11, 12）にかけての位置が全体的に高く、前方に位置しています。これにより、首や肩に余計な負担がかかる可能性があります。

2. **肩の高さ**:

- 左肩（ランドマークID: 11）と右肩（ランドマークID: 12）の高さが不均衡で、左右のバランスが崩れています。肩が前に出すぎるため、肩甲骨周辺の筋肉に負担がかかる可能性があります。

3. **肘と手首の位置**:

- 肘（ランドマークID: 13, 14）および手首（ランドマークID: 15, 16）の位置が自然な位置よりも高く、腕の位置が不自然に見えます。これにより、腕や肩に余分な緊張が生じる可能性があります。

4. **改善の提案**:

- 頭をやや後ろに引き、顎を軽く引くことで、首と頭の位置を改善しましょう。
- 肩を後ろに引いて、自然な位置に戻すよう心がけましょう。肩甲骨を寄せるイメージを持つと良いです。
- 肘と手首を自然な位置に下げ、肩の高さを均等に保つようにしましょう。

アンケート内容

① 5段階評価

- ・判定結果の指摘は参考になりましたか？ → 「とても参考になった」
- ・改善案を試して役に立ちましたか？ → 「とても役に立った」
- ・実用性はあると思いましたか？ → 「とても実用的だ」

② 自由記述

本システムを使用して感じたこと、改善点等を書いて下さい

「どこが、どのようにずれているのかが的確に出力されている。また、改善の提案に関して、「肩甲骨を寄せるイメージを持つと良い」のように、具体的な改善案で、わかりやすいと感じた。ノートパソコンのカメラで、実際は自動でやってくれるそうなので、実用的なシステムだと感じた。」

・ユーザ 3

評価結果

=== Evaluation: median_pose ===

ポーズの評価と改善

1. **姿勢のズレの評価**:

- 全体的に、ターゲットポーズは維持したいポーズに比べて肩と胸が前に傾いているようです。特に、肩(ランドマーク7, 8)と肘(ランドマーク11, 12)の位置が特に前に出ています。

2. **特定のズレた関節や身体部分**:

- **肩**: 左肩(ランドマーク7)と右肩(ランドマーク8)が前方に移動しています。これは、肩が内側に巻き込まれている可能性があります。

- **肘**: 左肘(ランドマーク11)と右肘(ランドマーク12)が、維持したい状態よりも前に位置しています。

- **手**: 両手(ランドマーク13, 14)も少し前に出ているため、腕全体が前方に傾いていると考えられます。

- **頭**: 頭(ランドマーク0)の位置が前に出しており、頭が前かがみになっている可能性があります。

3. **姿勢改善の提案**:

- **肩を後ろに引く**: 肩を少し後ろに引き、胸を張るように意識しましょう。肩甲骨を軽く寄せるイメージを持つと良いです。

- **腕の位置を調整**: 腕を自然に体の横に下げ、肘が体の中心線に近づくようにしましょう。

- **頭の位置を調整**: 頭を背骨の上に乗っすぐ乗せるように意識し、首を伸ばして頭を引き上げる感じにしましょう。

アンケート内容

① 5段階評価

- ・判定結果の指摘は参考になりましたか? → 「とても参考になった」
- ・改善案を試して役に立ちましたか? → 「とても役に立った」
- ・実用性はあると思いましたか? → 「とても実用的だ」

② 自由記述

本システムを使用して感じたこと、改善点等を書いて下さい

「回答なし」

・ユーザ4

評価結果

=== Evaluation: median_pose ===

1. 評価:

ターゲット姿勢は維持したい姿勢と比較して、全体的に肩と上半身が前に出ている傾向があります。特に、肩甲骨と肩のランドマーク（ID 11, 12）がより前方に位置しており、これは上半身が前屈していることを示唆しています。また、腕の位置もはじめの状態よりも少し前に出ているようです。

2. 誤った位置の特定:

- 肩（ランドマークID 11, 12）の前方移動
- 肘（ランドマークID 13, 14）のわずかな前方移動
- 手首（ランドマークID 15, 16）のわずかな前方移動

3. 姿勢改善のための提案:

- **肩を後ろに引く**：肩甲骨を背中に寄せるようにして、肩を少し後ろに引いてみましょう。これにより、上半身が自然に背筋を伸ばすことができます。
- **胸を開く**：胸を自然に前に押し出すことで、肩が自然に後ろに引かれ、姿勢が改善します。
- **肘を体側に近づける**：リラックスした状態で、肘を体側に寄せ、手を体の近くに保つようにしましょう。これにより、腕の前方移動を防ぐことができます。

これらの改善策を意識し、日常的に適用することで、より良い姿勢を維持することができます。

アンケート内容

① 5段階評価

- ・判定結果の指摘は参考になりましたか？ → 「とても参考になった」
- ・改善案を試して役に立ちましたか？ → 「役に立った」
- ・実用性はあると思いましたか？ → 「実用的だ」

② 自由記述

本システムを使用して感じたこと、改善点等を書いて下さい

「誤った位置の特定が必要ないかなと感じた。」

・ユーザ 5

評価結果

=== Evaluation: median_pose ===

1. ****姿勢の逸脱評価:****
 - 現在の姿勢は、維持したい姿勢に比べて全体的にやや前方に傾いています。具体的には肩と肘の位置が前に出ています。
2. ****具体的なズレのある関節や部位:****
 - ****肩 (ランドマーク 11, 12):**** 維持したい姿勢に比べて後方に位置しています。特に右肩がより前方に位置しています。
 - ****肘 (ランドマーク 13, 14):**** 肩と類似して、維持したい状態よりも前方に突き出しています。
 - ****手首 (ランドマーク 15, 16):**** 肘の影響で、手首も前方に移動しています。
3. ****姿勢改善のアドバイス:****
 - ****肩を引く:**** 肩を少し後方に引くように意識しましょう。肩甲骨を寄せるようにすることで、肩が自然と正しい位置に戻ります。
 - ****肘を体に近づける:**** 肘を体に近づけることで前方への突き出しを修正します。これにより、腕全体が自然と体に沿って戻ります。
 - ****手をリラックス:**** 手首や指に力が入っている可能性があるため、手をリラックスさせることで肩や肘の位置も改善されることがあります。

これらの改善を意識することで、全体の姿勢がより自然で快適なものになるはずです。

アンケート内容

① 5段階評価

- ・判定結果の指摘は参考になりましたか？ → 「参考になった」
- ・改善案を試して役に立ちましたか？ → 「どちらでもない」
- ・実用性はあると思いましたか？ → 「実用的だ」

② 自由記述

本システムを使用して感じたこと、改善点等を書いて下さい

「1. 姿勢の逸脱評価と 2. 具体的なずれのある関節や部位において現在の姿勢が真逆の評価をされていてどちらが正しいのか不明な部分がありました。AI の回答に一貫性がないのがまだ改善点としてあげられるのではないかと思います。」

・ユーザ 6

評価結果

=== Evaluation: median_pose ===

ターゲットポーズとリラックスポーズの比較分析：

1. **全体的なズレの評価:**

- ターゲットポーズのランドマークは、全体的にリラックスポーズに比べて前方に位置しています。特に、上半身が前に出ているように見えます。肩や腕の位置が変化しています。

2. **具体的なズレの位置:**

- **肩周り**：肩（ランドマークID 11, 12）が前方に移動しており、背中が丸まっている可能性があります。

- **肘**：肘（ランドマークID 13, 14）が体に近づき、また前方に出ているため、腕が内側に巻き込まれているようです。

- **手首**：手首（ランドマークID 15, 16）が上半身と同様に前に出しており、手が体の前に位置しています。

3. **改善のアドバイス:**

- **肩の調整**：肩を後方に引き、胸を開くようにしましょう。これは、肩甲骨を軽く寄せることで実現できます。

- **背中を伸ばす**：背筋を伸ばし、頭を上を引っ張るイメージを持ってください。これにより、前傾姿勢を改善できます。

- **腕の位置**：上腕を体の側面に戻し、肘を少し後ろに引くと、より自然な位置に戻ります。

これらの調整を行うことで、より自然で健康的な姿勢を維持することができるでしょう。

アンケート内容

① 5段階評価

- ・判定結果の指摘は参考になりましたか？ → 「参考になった」
- ・改善案を試して役に立ちましたか？ → 「とても役に立った」
- ・実用性はあると思いましたか？ → 「実用的だ」

② 自由記述

本システムを使用して感じたこと、改善点等を書いて下さい

「システム上では分かるようになっているかもしれませんが、ターゲットポーズとリラックスポーズの比較と言われても、どちらが最初のポーズなのかが分かりません。また、最初の30秒は「理想の姿勢」だったと思うので、リラックスポーズが理想の姿勢のことを指すのであれば統一した方が分かりやすいかなと感じました。ランドマークについての記述が所々ありますが、ランドマークが何を指しているのか分かりませんでした。改善のアドバイスなどは、とても分かりやすく実践しやすいと思いました。」

・ユーザ7

評価結果

=== Evaluation: median_pose ===

ターゲット姿勢が維持したい姿勢からどの程度逸脱しているかを評価し、調整が必要な特定の関節や体の部位を特定し、具体的な姿勢改善の提案を行います。

1. **首と肩の位置（ランドマークID: 0-6, 11-12）**

- 首（ID: 0）と肩（ID: 5, 6）が前方に出ている。維持したい姿勢よりも前に出ているため、首の前方突出（テキストネック）の可能性があります。

2. **腕の位置（ランドマークID: 7-10, 13-16）**

- 肩（ID: 11, 12）から肘（ID: 13, 14）にかけて、ターゲット姿勢では維持したい姿勢よりも下向きで、内側に回転している可能性があります。

3. **改善提案**

- **首と肩の調整**：首をまっすぐにし、肩を後ろに引いて肩甲骨を寄せるよう意識しましょう。これにより、首と肩の前方突出を軽減し、姿勢を改善できます。

- **腕の調整**：肘をリラックスした状態に戻し、前腕を自然な位置に保ちます。肩を開くように意識することで、腕の内側回転を防ぎます。

これらの調整を心がけることで、維持したい姿勢に近づけることができ、バランスの取れた体の動きを取り戻せます。

アンケート内容

① 5段階評価

- ・判定結果の指摘は参考になりましたか？ → 「参考になった」
- ・改善案を試して役に立ちましたか？ → 「役に立った」
- ・実用性はあると思いましたか？ → 「実用的だ」

② 自由記述

本システムを使用して感じたこと、改善点等を書いて下さい

「これがリアルタイム（30分ごと）に知らせてくれるのはデスクワークが多くなる社会人とか大学生にとっては役に立つと感じた。」

・ユーザ8

評価結果

=== Evaluation: median_pose ===

1. **評価:**

- ターゲット姿勢は維持したい姿勢からいくつかの面で逸脱しています。特に、肩、肘、手首の位置が大きく異なっています。

2. **特定のずれ:**

- **肩:** ターゲットの肩(ランドマーク1, 2, 5, 6)は、維持したい姿勢と比較して前方に出ており、僅かに下がっています。この位置は、猫背や肩の丸まりを引き起こす可能性があります。

- **肘と手首:** ターゲットの肘(ランドマーク9, 10)と手首(ランドマーク11, 12)は、維持したい姿勢と比べて高さが異なり、体の側面に対してより前に出ています。これにより、腕の動きが制限される可能性があります。

3. **改善策:**

- **肩の位置を修正:** 肩を後ろに引き、胸を開くようにしましょう。これは、肩甲骨を寄せることで達成できます。定期的に肩甲骨を動かすストレッチを取り入れると効果的です。

- **姿勢の意識:** 頭の位置を矯正し、耳が肩の真上に来るように意識しましょう。これにより、首や肩の緊張を軽減できます。

- **腕の位置調整:** 肘と手首をリラックスした位置に戻すように心がけ、腕を自然に下げるようにしてください。腕を体の側面に沿わせ、無理なく動かせる範囲を確保しましょう。

これらの改善策を実践することで、姿勢が徐々に改善され、身体の負担が軽減されるでしょう。取り入れやすいストレッチやエクササイズを日常に組み込むことをお勧めします。

アンケート内容

① 5段階評価

- ・判定結果の指摘は参考になりましたか? → 「参考になった」
- ・改善案を試して役に立ちましたか? → 「役に立った」
- ・実用性はあると思いましたか? → 「実用的だ」

② 自由記述

本システムを使用して感じたこと、改善点等を書いて下さい

「回答なし」

