



# バーチャルスクリーンの移動による XR ナレッジワーク中の頸部ストレッチング誘導手法

Guiding Neck Stretching by Moving a Virtual Screen During XR Knowledge Work

佐々木涼<sup>1)</sup>, 藤田和之<sup>1)</sup>, 田中雄大<sup>1)</sup>, 高原良<sup>2)</sup>, 北村喜文<sup>1)</sup>

Ryo SASAKI, Kazuyuki FUJITA, Yudai TANAKA, Ryo TAKAHARA, and Yoshifumi KITAMURA

1) 東北大学 電気通信研究所 (〒 980-8577 宮城県仙台市青葉区片平 2-1-1, sasaki.ryo.p1@dc.tohoku.ac.jp)

2) 株式会社 TATAMI (〒 113-0032 神奈川県川崎市中原区上丸子山王町 1-872-5 08 ビル, info@tatami-design.jp)

**概要:** 本研究では、バーチャルスクリーンを空間内で移動させることにより、頭部の回転を促し、作業を中断させることなく頸部（首）のストレッチングを誘導する手法を提案する。本手法では、ユーザが注視しているスクリーンを、ユーザとの距離を保ちながら、頭部のヨー・ピッチ・ロール方向への一定量の回転を促すように移動させることにより、対応する筋肉の伸長を誘導し、凝りの緩和を支援する。

**キーワード:** バーチャルスクリーン, スタティックストレッチング

## 1. はじめに

長時間のデスクワークによって引き起こされる筋骨格系障害 (Musculoskeletal disorders: MSDs) は、オフィスワーカーの健康を脅かし、労働生産性の低下や経済的損失の要因となる [1] 深刻な問題である。肩こりや頸部痛に代表される MSDs は、同じ姿勢を長時間とり続けることによる筋肉の凝り（緊張状態）や血行不良により引き起こされ、痛みや身体疲労といった症状を伴う。

MSDs の緩和のための有効な方策の 1 つに、ストレッチングが挙げられる。その中でも、反動をつけずにゆっくりと筋を伸張させ、数十秒間保持するスタティックストレッチングは、長期間習慣的に実施することで疼痛強度が改善されることがいくつかの研究により報告されている [5][3][6]。

しかし、多くのワーカーにとって、適切なストレッチングを習慣的に実施することは容易ではない。これには主に 2 つの理由が考えられる：(1) 多くのワーカーはストレッチングの適切な手順や方法（すなわち、体をどのように動かせばどの筋肉を伸ばす効果が得られるか）を把握しているわけではない、(2) ストレッチングの実施には他のタスクを一度中断する必要がある。そのため、タスクを中断することなく、かつ適切なスタティックストレッチングを実施できる有効な手法が求められる。

一方で、近年では Head Mounted Display (HMD) を用いた Extended Reality (XR) 内でのナレッジワーク環境が市民権を得つつある。XR 内でのナレッジワークは、従来のデスクトップ環境とは異なり、ユーザが実施中のタスクにおいて注視しているコンテンツの配置を物理的な制約にとらわれることなく柔軟に変更することで、ワーカーの姿勢を適切に誘導できる可能性がある。Shin らは、このアイデア

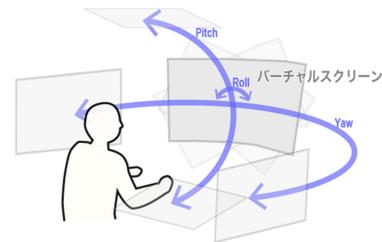


図 1: バーチャルスクリーンの様子

のもとで、スクリーンの動きに対する検知閾を明らかにし、いくつかの種類スクリーンの動きがユーザ体験に与える影響について調査している [9]。しかし、これまでストレッチングエクササイズ誘導を試みた研究はない。

そこで本研究では、バーチャルスクリーンを空間内で移動させることにより、頭部の回転を促し、作業を中断させることなく頸部のストレッチングを誘導する手法を提案する。本手法では、ユーザが注視しているスクリーンを、ユーザとの距離を保ちながら、頭部のヨー・ピッチ・ロール方向への一定量の回転を促すように移動させる（図 1）ことにより、対応する筋肉を伸ばすことを誘導し、凝りの緩和を支援する。特に本研究では、ユーザのタスクを妨げることなくストレッチングを適切に誘導する方法を見いだすため、スクリーンの動作のための 2 種類の座標系 (World-Bound: WB, Body-Bound: BB) と 2 種類の動作形式 (連続, 離散) に着目する。我々は、それらの条件の組み合わせによるスクリーン動作を設計・実装し、ユーザテストにより評価した。

## 2. 提案手法

### 2.1 設計要素

遂行中のタスクに極力悪影響を与えず、かつストレッチングの体の動きを適切に支援するため、対象とするストレッ

チングの種類, バーチャルスクリーンを配置する座標系, スクリーン動作形式を主要な設計要素として検討する。

### 2.1.1 対象とするストレッチング

本研究では設計・実装の単純化のため, 首のヨー・ピッチ・ロール方向の回転運動を対象とする。首のヨー回転動作(回旋)には板状筋と胸鎖乳突筋が, ピッチ回転のうち下を向く動作(屈曲)には胸鎖乳突筋と斜角筋が, 上を向く動作(伸展)には僧帽筋と板状筋が, ロール回転動作(側屈)には胸鎖乳突筋と斜角筋がそれぞれ関与する [10]。カナダ労働安全衛生センターは 3 軸方向への首のストレッチングをオフィスワークに推奨しており [2], 首のヨー・ピッチ・ロール方向へのストレッチングはナレッジワークにおいて発生する筋肉の凝りをほとんど網羅的に緩和できると考えられる。

### 2.1.2 スクリーン座標系

スクリーンの座標系に関して, 現実世界に整合した「World-Bound 座標系 (WB)」ではなく, トラッキングされたユーザの体幹を基準とする「Body-Bound 座標系 (BB)」を用いることで, 適切な首の角度でのストレッチングを誘導できると考えられる。まず, 一般的な VR 空間で用いられる, 現実世界に整合した座標系である WB 座標系では, 促したい角度の首ストレッチングを正しく誘導できない可能性がある。なぜなら, WB システムでは, 現実世界に対する頭部の相対角度しか測定できず, 首関節の実際の角度を測定することができないためである。具体的には, WB 座標系では, 頸部運動ではなく胴体の傾きを変化させることでスクリーンを見続けることができず, 適切な角度のストレッチングをサポートすることができない場合がある。これに対し, 我々は, トラッキングされたユーザの体幹を基準とした座標系である BB 座標系を用いることで, 適切な角度まで首を曲げた正しいストレッチングの動きをサポートできると考える。ここで, BB 座標系は, ユーザ体幹のトラッキング結果を原点として, 常に動的に移動・回転する座標系である。これまで, BB 座標系は 3D 空間上における平面情報の表示手法として研究されており [4], 特に歩行時の AR/MR における有効性が明らかとなっている [7][8], BB システムでは, トラッキングされた体幹の角度と, 頭部の角度 (HMD の角度) との差を取ることで, 首関節の角度を取得することができる。その結果, WB のように胴体の傾きを変化させてスクリーンを見ることができなくなり, ユーザの姿勢が変化した場合でも目標とする角度の首ストレッチングを正確に実施できる。

### 2.1.3 スクリーン動作形式

動作形式に関して, タスクへの悪影響を最小限に抑えるため, 連続的な動作 (Continuous: Con) と離散的な動作 (Discrete: Dis) の 2 つのパターンを設計した (図 2, 図 3)。タスクコンテンツが表示されているスクリーンの移動は, ユーザの認知負荷を高め, タスクに悪影響を与える可能性がある (例えば, 読んでいた文章を見失う)。そのため, ユーザにかかる認知負荷を最小化できるような動作形式を選定

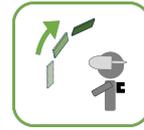


図 2: Continuous 動作

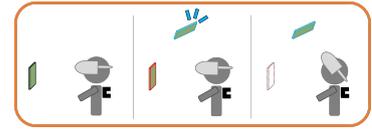


図 3: Discrete 動作

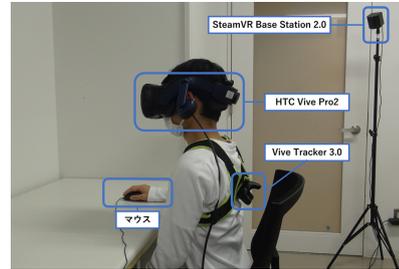


図 4: 実験環境

する必要がある。Con は, スクリーンがストレッチング方向に一定速度で移動する手法である。事前に決められたタイミングに合わせてシステムが強制的にスクリーンの移動を開始するため, Con はシステム主導の動作形式である。一方, Dis は, 複製された新しいスクリーンがストレッチング方向に表示される手法である。ユーザは自身のタイミングで新しいスクリーンに視線を移してストレッチングを開始でき, それに伴い正面のスクリーンは消滅する。このように, ユーザがストレッチングのタイミングを能動的に選択できるため, Dis はユーザ主導の動作形式である。

## 2.2 ユーザテスト 1

VR 空間内での読書タスク中に本手法を適用し, バーチャルスクリーンの座標系 (WB, BB) や動作形式 (Con, Dis) がユーザのストレッチング動作や主観評価に与える影響を調査した。実験には, 本研究室に所属している学生 8 名 (内女性 1 名, 平均 22.4 ± 1.1 歳) が参加した。

### 2.2.1 実験環境

実験環境を図 4 に示す。実験中, 参加者は机に向かってオフィスチェアに着座し, HMD と, 上半身にトラッカーの取り付けられたストラップを装着した。HMD には HTC Vive Pro2 を用い, 片目あたり 2,448 × 2,448 ピクセルの解像度, 毎秒 90 フレームで映像を提示した。参加者の周囲に HTC Vive のベースステーションを配置し, トラッキングエリアは 2m × 2m 程度とした。バーチャルスクリーンの設計に関しては, 類似の読書タスクを行っている先行研究 [9] を参考に, スクリーンのサイズを 0.74m × 0.74m, 文字サイズを 0.05m, 参加者からスクリーンまでの距離を 2m とした。読む文章は日本語の童話を用い, マウスのスクロールで文章を読み進めてもらった。

### 2.2.2 実験計画と手順

実験は, 実験の概要説明, キャリブレーション, 本試行 (1 試行あたり 5 分間) × 4 手法 (座標系 2 手法と動作形式 2 手法の組み合わせ), および全試行終了後のインタビューからなっており, 実験全体の所要時間は, 参加者 1 人あたり 75 分程度であった。

まず参加者に椅子に着座してもらい, 実験概要を説明し

た。次に、本実験で行うヨー方向（+：右回旋，-：左回旋）、ピッチ方向（+：伸展，-：屈曲）、ロール方向（+：右側屈，-：左側屈）の正しいストレッチング方法を、実験者がストレッチングを実演して教示した。その後、HMDと背中のトラッカーを装着し、HMDのレンズ幅等の初期調整を行った。また、各参加者の首の関節可動域をキャリブレーションするため、首のストレッチング6方向について、それぞれ痛みを感じない範囲で最大限まで伸ばしてもらい、その姿勢を10秒間保持してもらい、これを各方向につき3回ずつ繰り返してもらい、2回目と3回目の結果を平均した値をその参加者のストレッチング目標角度と定めた。その後、読書タスクとバーチャルスクリーンの移動方法について説明を行い、本試行に移った。説明の中で、「基本身体は正面を向いた状態で、頸部だけを用いてストレッチ」するよう教示した。本試行では、4手法のいずれかを用い、5分間の読書タスク中にスクリーンが移動し（6方向）、ストレッチングを各30秒間実施してもらった。この各試行について、首のストレッチング角度（胴体と頭部の角度差）とストレッチング達成割合（首のストレッチング角度/ストレッチング目標角度（関節可動域））を測定した。4手法の提示順序は、参加者間でカウンターバランスをとった。各条件の試行終了後には、作業の邪魔に関する7段階リッカート尺度の独自アンケートに回答してもらった。また、全試行終了後に、日常利用したい順番と手法に対する改善点を口頭で回答してもらった。

### 2.2.3 結果と考察

各手法のストレッチング達成割合（本実験ではロール方向に測定不備があったため、ヨー・ピッチ方向で比較）の平均を図5に示す。ウィルコクソンの符号順位検定の結果、ストレッチング達成割合に条件間の有意差は見られなかった。この要因としては、短時間（1手法5分程）だったため正しい姿勢を常に維持できたこと、参加者が「実験」であることを意識し通常時より正しい姿勢を維持しようとする心理バイアスがかかったこと、「基本身体は正面を向いた状態で、頸部だけを用いてストレッチ」と教示をしたため姿勢が崩れなかったこと等が考えられ、姿勢が崩れた（胴体が傾いた）状況でも、目的のストレッチングを促せるというBBの優位性が現れなかった可能性がある。

各手法に対する作業への邪魔の少なさの主観評価の結果を、図6に示す。作業の邪魔の少なさについては、WBConが最も評価が高く（作業への邪魔が少なく）、次いでWBDIs、BBCCon、BBDIsの順番となった。また日常利用したい順番については、BBよりWBを利用したいと回答した参加者が8名中7名、DisよりConを利用したいと回答した参加者が8名中6名となった。主観評価についてBBよりもWBが優位となったのは、BBが背面のトラッカーに追従して座標系が移動・回転してしまうため、ユーザの意図しない姿勢変化の影響でバーチャルスクリーンの位置が移動してしまい、作業の阻害度が増加してしまったためであると考えられる。また、DisよりもConが優位となった原因として

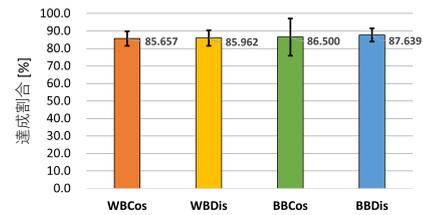


図5: ストレッチング達成割合

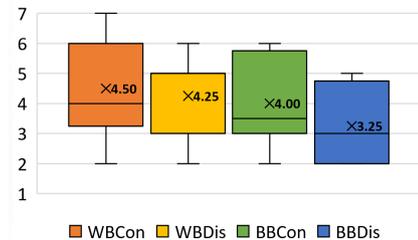


図6: 作業の邪魔

は、読書タスクとの相性の良さが考えられる。参加者3名から「Conは読んでいる文章の位置を見失わずに済むため読みやすい」「Disは一度スクリーンから目を離すため、読んでいた文章位置を見失った」等の感想が得られた。

## 2.3 ユーザテスト2

バーチャルスクリーンの座標系(WB, BB)がユーザのストレッチング動作に与える影響を調べるためのユーザテストを再度実施した。なお本テストでは、ユーザテスト1の結果を踏まえ、参加者に普段通りの姿勢で実験に参加してもらうため、スクリーンを動作させる目的を参加者に伝えなかった。実験には、本研究室から学生6名（内女性1名、平均23.2 ± 0.8歳）が参加した。参加者6名中4名は、実験1の参加者であった。実験環境はユーザテスト1と同様であった。

### 2.3.1 実験計画と手順

実験は概ねユーザテスト1と同様であり、実験全体の所要時間は、参加者1人あたり30分程度であった。ただし、実験タスク簡易化のため、大きく「A」と表示されたバーチャルスクリーンを見続けてもらうタスクとした。また、バーチャルスクリーンを動作させる目的（すなわち、頸部のストレッチングを誘導していること）は参加者に伝えず、「身体の姿勢はどのように動かしていただいても大丈夫」と教示した。バーチャルスクリーンの動作形式は、ユーザが自分の意志で自由に身体を動かしてもらうため、Disで固定した。また、本テストでは、ストレッチングの教示を行わないため、参加者毎のストレッチ目標角度に対するキャリブレーションは行わず、日本リハビリテーション医学会が報告している関節可動域表示ならびに測定法（2022年4月改定）[11]の値を用いることにした。参加者の個人差を考慮し、ストレッチング方向（6方向）それぞれについて、関節可動域の75%・100%を目標角度とする条件をそれぞれ用意した（表1）。ストレッチング目標角度（75%・100%）×6方向（ピッチ±・ヨー±・ロール±）×3セット、計36回の試行を、バーチャルスクリーンの配置座標系2手法（WB・BB）で実施した。ストレッチング達成割合は、手法

表 1: 頸部の関節可動域 [11]

	ピッチ+ (伸展)	ピッチ- (屈曲)	ヨー+ (右回旋)	ヨー- (左回旋)	ロール+ (右側屈)	ロール- (左側屈)
関節可動域 (75 %) [°]	45	37.5	45	45	37.5	37.5
関節可動域 (100 %) [°]	60	50	60	60	50	50

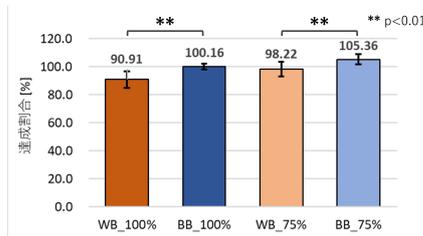


図 7: ストレッチング達成割合 全方向平均

毎に 1 セット目の値は用いず、システムの利用に慣れた状態である 2・3 セット目の値の平均から算出した。2・3 セット目でトラッキングの問題によるデータ欠損が起きた箇所は、もう一方のセットのデータを採用した。1 動作あたり、新しいスクリーンを見る時間は 2 秒であり、首の動作時間を含めると 5 秒程であった。動作間、手法間の順序効果を相殺するため、動作順序はランダムに提示し、手法順序は参加者間でカウンターバランスをとった。

### 2.3.2 結果と考察

ストレッチング達成割合の全方向平均を図 7 に示す。ウィルコクソンの順位和検定の結果、100 %、75 % ともに全手法のストレッチング達成割合の平均は BB が有意に高くなった ( $p < 0.01$ )。この結果から、ユーザがストレッチングを意識していない状態で本システムを用いる場合、WB よりも BB の方が目的のストレッチングを促せることが示された。これはストレッチング時にその方向に身体の向きが流れてしまうことが要因であると考えられる。WB では開始時の姿勢で座標系を固定するため、ストレッチング時の身体の流れを反映できず、ストレッチング達成割合が低下するのに対し、BB では座標系が常に体幹の正面位置に回転するため、ストレッチング時の体の流れを反映した状態でストレッチでき、ストレッチング達成割合が高くなったと考えられる。

## 3. おわりに

本研究では、バーチャルスクリーンの移動によって作業を中断せずに適切な頸部のストレッチングを誘導する手法を提案・設計・評価した。今後は、提案システムがユーザ体験に与える影響をユーザスタディを通して検証する予定である。

### 参考文献

- [1] S. Bevan. Economic impact of musculoskeletal disorders (msds) on work in europe. In *Best Practice & Research Clinical Rheumatology*, pages 356–373, 2015.
- [2] Canadian Centre for Occupational Health and Safety. Office ergonomics - stretching - at the workstation. <https://www.ccohs.ca/oshanswers/ergonomics/office/stretching.html>.
- [3] A. C. V. Cunha, T. N. Burke, F. J. R. França, and A. P. Marques. Effect of global posture reeducation and of static stretching on pain, range of motion, and quality of life in women with chronic neck pain: a randomized clinical trial. *Clinics*, 63:763–770, 2008.
- [4] B. Ens, J. D. Hincapié-Ramos, and P. Irani. Ethereal planes: a design framework for 2d information space in 3d mixed reality environments. In *Proceedings of the 2nd ACM symposium on Spatial user interaction*, pages 2–12, 2014.
- [5] A. Häkkinen, P. Salo, U. Tarvainen, K. Wiren, and J. Ylinen. Effect of manual therapy and stretching on neck muscle strength and mobility in chronic neck pain. *Journal of rehabilitation medicine*, 39(7):575–579, 2007.
- [6] J. R. Jepsen and G. Thomsen. Prevention of upper limb symptoms and signs of nerve afflictions in computer operators: The effect of intervention by stretching. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, 3(1):1, 2008.
- [7] E. M. Klose, N. A. Mack, J. Hegenberg, and L. Schmidt. Text presentation for augmented reality applications in dual-task situations. In *2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, pages 636–644, 2019.
- [8] W. S. Lages and D. A. Bowman. Walking with adaptive augmented reality workspaces: design and usage patterns. In *Proceedings of the 24th International Conference on Intelligent User Interfaces*, pages 356–366, 2019.
- [9] J. G. Shin, D. Kim, C. So, and D. Saakes. Body follows eye: Unobtrusive posture manipulation through a dynamic content position in virtual reality. In *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 1–14, 2020.
- [10] 上原健志 and 石井直方. セラピストがよくわかる魔法の教科書 解剖生理&ストレッチマスター. 笠倉出版社, 2020.
- [11] 日本リハビリテーション医学会. 関節可動域表示ならびに測定法 (2022 年 4 月改定), 2022.