

Extended Reality におけるキーボード操作に最適な操作領域 The Optimal Area for Keyboard Operation in Extended Reality

新保翔汰[†]
Shota Shinbo

梶原祐輔[†]
Yusuke Kajiwara

1. はじめに

AR,MR,VR 技術などを含む(XR: Extended Reality)技術はメタバースをはじめ教育、医療、エンターテインメント、ビジネスなど様々な分野で活用されている。XR 技術における文字入力インターフェースとして、伝統的にモーションコントローラが使用されてきたが、近年のハンドトラッキングの精度向上に伴い、実世界のデスクワークでよく用いられるキーボードと同等の機能を持った仮想キーボードの利用が検討されている[1]。一方で XR 技術におけるキーボードの適切な操作領域の検討が十分になされていない。Kim らの研究では仮想キーボードは物理的な接触によって作動するため、ユーザは誤作動を防ぐために指や手をキーボードの上へ上げておく必要があることが報告されている。ただし VR 上では様々な位置と姿勢にキーボードを配置可能だが、その操作領域の違いがキーボードのタイピング速度や操作性、疲労度に与える影響は検討されていなかった[2]。

本研究ではデスク作業を想定し、物理キーボード、机と平行に空中表示、机に垂直に空中表示、机に重畳表示の4つのケースの操作領域を比較した。その結果、依然として仮想キーボードは物理キーボードと比較すると操作性が低く、疲労度も高いが、仮想キーボード間では操作領域によって疲労度に有意な差がみられた。ただし主観的疲労度と、表面筋電位(EMG)の間に差異がみられた。この原因として、机に重畳表示することによる触覚の提供が、主観的疲労度の低下に寄与している可能性があることが示唆された。本研究の成果は、XR 技術の発展においてユーザ体験を高めるための一助となることが期待される。

2. 実験

2.1 目的・内容

XR 空間におけるキーボード操作時の最適な操作領域を明らかにするために、本研究では物理キーボード(図 1(a))と3パターンの位置と姿勢に表示した仮想キーボード(図 1(b)-(d))において3分間タイピングを行った。評価はキーボードの操作性と操作時の快適度で評価する。操作性はWPM(words per minute)と正答率、主観的操作性で評価する。正答率(正解数/入力文字数)とWPM(入力文字数/計測時間)を算出する。快適度は指と手首と腕と肩と首の主観的快適度と筋活動で評価する。主観的操作性と主観的快適度はVAS(Visual Analog Scale)で取得する。タイピング画面に表示されたキーと同じキーを入力した場合を正解、違う場合を不正解とし、その数を算出した。被験者ごとのVASスコアにmaximum-minimum normalizationを行った。そして、ケースごとに正規化したVASスコアの平均と標準偏差を算出した。タイピング時の筋活動量を測定するために、被験者の僧帽筋と浅指屈筋(図 1(5))にEMGセンサ、肘の尺骨にリ

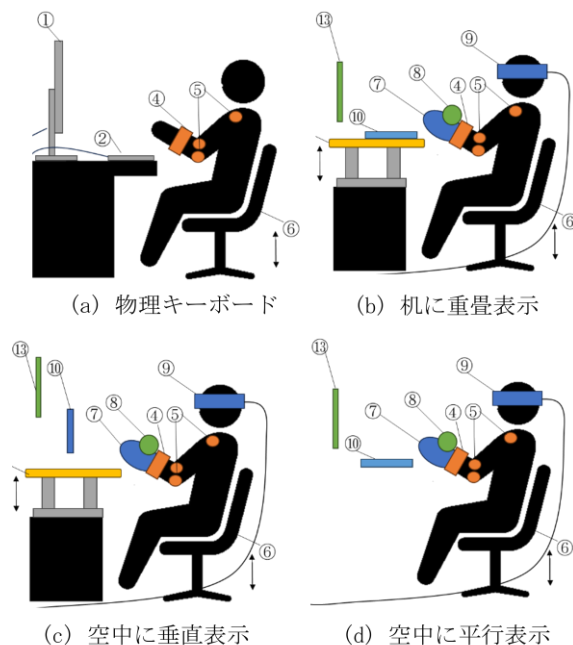


図1 実験環境

ファレンス電極を1か所取り付け、指と肩の筋活動を測定した。筋活動はEMGからRMS(root mean square)で評価した。EMGの測定には⑤biosignals plusを用いた。

図1のVRグラスとして⑨Valve Index、ハンドトラッキングに⑦Quantum Metaglovesと⑧Vive trackerを使用した。Valve IndexとVive Trackerをトラッキングするためにベースステーションを、被験者を中心として対角線上に2か所設置した。被験者とモニターの距離を70cm開けた。被験者がタイピングしやすいよう、⑥昇降型椅子を使用し、高さ調節した。

実験に使用するタイピングアプリケーションはUnity2022.3.7f1とC#で作成した。

被験者は日本人の大学生男性12名と女性1名、合計13名が参加した。被験者の年齢はMean=21.2歳,SD=0.99である。被験者は事前に実験について十分に説明を受け、実験の目的、プロトコル、およびデータの取り扱いに関する包括的な情報が提供され、同意書にサインした。机に重畳表示は仮想キーボードと昇降機の上面に設置するよう、調整した。また空中に垂直表示では腕の疲労を軽減させるために、肘を机においた状態で操作してもらった。仮想キーボード操作の慣れがデータに与える影響を軽減するために、被験者は測定前に各ケースにおいて十分にタイピング練習し、さらにケース2からケース4を実施する順番は被験者ごとに一様乱数をもとにランダムにした。入力する文章は

表 1 実験結果 (赤、黄、緑の順で操作性が高い、あるいは疲労度が低い。黒は物理キーボード)

		物理		机重畳		空中 (垂直)		空中 (水平)	
		Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
操作性指標	WPM[words/sec]	188	50.9	104	41.9	96.6	29.8	103	20.4
	正答率[%]	0.94	0.03	0.66	0.12	0.67	0.10	0.72	0.10
	主観的操作性[%]	0.97	0.10	0.15	0.22	0.25	0.34	0.34	0.31
疲労度指標	指 (疲労度) [%]	0.05	0.18	0.47	0.41	0.86	0.21	0.55	0.38
	腕 (疲労度) [%]	0.12	0.19	0.37	0.33	0.91	0.28	0.61	0.33
	手首 (疲労度) [%]	0.04	0.14	0.47	0.32	0.98	0.09	0.51	0.31

日本語の文章である。入力する文章はケースごとにランダム
のシード値を固定し、被験者間で同じ文章を入力するよ
うに設定した。練習用と本番用は異なる文章である。

2.2 結果

実験結果を表 1 に示す。表 1 から物理キーボードと仮想
キーボードでは操作性および疲労度で有意な差が見られた。
仮想キーボード間では操作性のうち、WPM と正答率にお
いて有意な差がみられなかったが、主観的操作性において
机に平行に空中表示 (空中 (平行))、机に垂直に空中表
示 (空中 (垂直))、机に重畳表示の順で高かった。また
仮想キーボード間では指、腕、手首、肩の疲労度において、
机重畳、空中 (水平)、空中 (垂直) の順に疲労度が低か
った。また仮想キーボード間では首の疲労度と指の EMG
において有意な差がみられなかった。

3. 考察

物理キーボードと仮想キーボードの間で有意な差が見ら
れた理由は精度にある。サブミリメートルの精度で手の動
きをトラッキングできる機器 (Quantum Metagloves) を用
いたが、キーボード操作においてはこの精度が十分ではな
かった。物理キーボードではユーザは問題なくタッチタイ
ピングできていたが、仮想キーボードにおいては、精度の
不足から多くのユーザがタッチタイピングできなかった。

また、仮想ディスプレイにおいては、操作領域ごとに操
作性と疲労度が異なることを明らかにした。ユーザは机に
重畳する表示方法が最も疲労度が少ないと感じていたが、
筋活動量に変化は見られなかった。空中 (平行) と机重畳
表示の違いは、机を打点している触覚の有無であるため、
この触覚が主観的疲労度の低下につながった可能性がある。

さらに、肩の主観的疲労度に関しては、机重畳が最も低
く、空中 (垂直) が最も高い結果となったが、肩の筋電図
(EMG) では、机重畳が最も高く、空中 (垂直) が最も低
いという逆の結果だった。これらの結果から、普段慣れ親
しんでいないような姿勢やパターンで操作を行うと、筋活
動量とは異なる要因で主観的疲労度が高まる可能性がある
ことを示唆している。

4. 限界

本研究の被験者は日本人でかつ 20 代の学生だった。した
がって、本研究では、操作性と疲労度における文化の違い
や年齢の違いを議論することに限界がある。さらに、短期
的な影響のみが測定されており、長期的な影響については
追加の検証が必要である。

5. おわりに

本研究では、XR 技術を用いたキーボード操作における
最適な操作領域を明らかにするため、物理キーボード、机
と平行に空中表示、机に垂直に空中表示、机に重畳表示の
4 つのケースを比較検討した。仮想キーボード間で主観的
操作性には有意な差が見られなかったが、主観的疲労度
においては机に重畳表示した場合が最も低い結果となっ
た。これに対し、EMG には有意な差が見られなかったこと
から、机に重畳表示することによる触覚の提供が、主観的
疲労度の低下に寄与している可能性があることが示唆され
た。

今後の研究では、より広範な被験者を対象とし、長期
的な使用による影響も考慮に入れた検討が必要である。さ
らに、仮想キーボードの精度向上や触覚フィードバックの
効果についても詳細に研究することで、XR 技術における
ユーザ体験のさらなる向上が期待される。

参考文献

- [1] Rickel, E., Harris, K., Mandile, E., Pagliari, A., Derby, J.L., Chaparro, B.S. (2022). Typing in Mid Air: Assessing One- and Two-Handed Text Input Methods of the Microsoft HoloLens 2. In: Chen, J.Y.C., Fragomeni, G. (eds) Virtual, Augmented and Mixed Reality: Design and Development. HCII 2022. Lecture Notes in Computer Science, vol 13317. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-05939-1_24
- [2] Kim, J. H., Aulck, L., Bartha, M. C., Harper, C. A., & Johnson, P. W. (2012). Are there Differences in Force Exposures and Typing Productivity between Touchscreen and Conventional Keyboard? Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 56(1), 1104-1108. <https://doi.org/10.1177/1071181312561240>

† 公立小松大学サステナブルシステム科学研究科,
Komatsu University, Graduate School of Sustainable
Systems Science