



半姿勢・半拘束状態における胸筋トレーニングバーの 曲げやすさ知覚

Perceived Bendability of a Chest Muscle Training Bar under Semi-postural and Semi-constrained Conditions

朱 傑¹⁾, 脇田 航¹⁾

Zhu Jie and Wataru Wakita

1) 広島市立大学大学院情報科学研究科 (〒731-3194 広島市安佐南区大塚東 3-4-1, zhu@vr.info.hiroshima-cu.ac.jp)

概要: 本研究では、胸筋トレーニング器具の一つであるアームバーを対象とし、アームバーを握ったユーザの手腕の各関節が中間状態(半姿勢)となるよう、また、硬いと柔らかいの中間硬さとなるようアームバーを模したデバイスで拘束(半拘束)し、力入力に応じて VR 空間内のアームバーの曲がりやすさを視覚的に変化させることで、力入力-視覚による位置出力によるクロスモーダル効果によってアームバーの曲げやすさを錯覚させる。

キーワード: 半姿勢, 半拘束, 力覚, クロスモーダル

1. はじめに

近年、バーチャルリアリティ (VR) 技術の発展および人々の健康意識の高まりにともない、従来のトレーニング手法は変革期を迎えている。特に、新型コロナウイルス感染症のパンデミック以降、トレーニングのゲーミフィケーションが急速に普及し始めた。その代表例である任天堂の「リングフィットアドベンチャー」は、ユーザが限られた空間内でリング状のデバイスを用い、画面の指示に従って多様なエクササイズが実践可能である。

VR の分野では、モーションキャプチャと Pseudo-haptics[1]によるエクササイズやトレーニングに関する研究が行われており、ユーザの動作に応じて映像を変化させることで、手軽に重量感や運動負荷を錯覚させることが期待できる。

しかしながら、モーションキャプチャベースの Pseudo-haptics では力の作用に対する反作用が生じないため臨場感が低く、ユーザとアバタの状態に差が生じるほど違和感となってしまう。一方、実物体指向インタフェースでは実物体を VR 内に持ち込むことができるが、ユーザ個々の能力に合わせた微細な負荷調整ができず、ユーザの筋力不足や不適切な操作に起因する負傷リスクなど、安全性の面でも課題がある。

そこで本研究では、胸筋トレーニング器具の一つであるアームバーを対象とし、アームバーを握ったユーザの手腕の各関節が中間状態(半姿勢)となるよう、また、硬いと柔らかいの中間硬さとなるようアームバーを模したデバ

イスで拘束(半拘束)し、力入力に応じて VR 空間内のアームバーの曲がりやすさを視覚的に変化させることで、力入力-視覚による位置出力によるクロスモーダル効果によってアームバーの曲げやすさを錯覚させる。本手法はユーザを半姿勢で半拘束することで、力覚呈示に重要な要素となる作用-反作用が働き、また、アドミタンス型の力覚呈示装置のような、力入力-視覚的な位置出力の疑似アドミタンス型の力覚呈示手法となるため、モーションキャプチャベースの Pseudo-haptics に比べて高臨場に曲げやすさを知覚させることが期待でき、アクチュエータも不要であるため安全かつ低コストに実現することができる。

2. システム概要

図 1 に提案するシステムの概要を示す。ユーザは HMD を装着し、アームバーを把持する際の初期状態と最も曲げた状態の中間姿勢で半拘束する専用デバイスを把持する。人間の皮膚の弾力を考慮し、ABS 樹脂のグリップを把持することで手指を半拘束する。デバイス内部の中央には両側のグリップから加えられる力を取得するため、ビーム型のロードセルおよび Arduino Nano を配置し、USB で PC と接続する。また、VR 空間内にアームバーを持ち込むため、デバイス中央には Vive Tracker を取り付ける。現実側でユーザがデバイスの両端から力を加えると、ロードセルの荷重値が Arduino を介して PC へ送信され、Unity 側では受信した荷重値に基づいてバーチャルアームバーの曲げ具合を算出し、さらに SteamVR から取得した Vive Tracker の

姿勢データに応じてバーチャルアームバーの姿勢を変化させたものをユーザが装着している HMD に出力する。

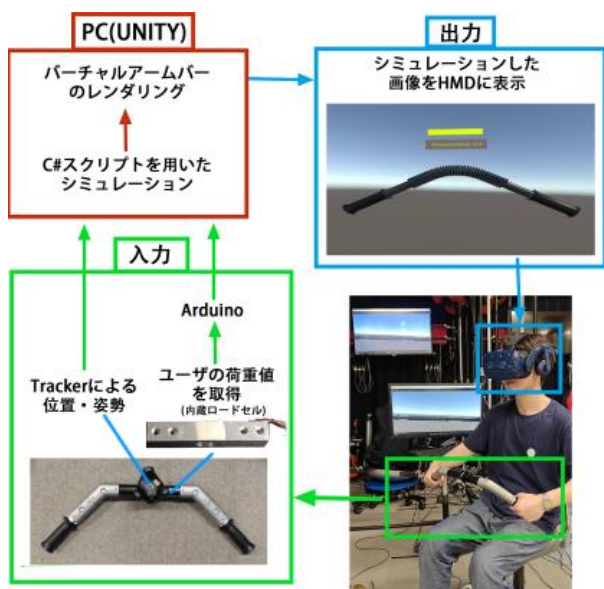


図 1: システム概要図

3. アームバーのシミュレーション

アームバーの変形をシミュレートするため、まず、実際のスプリング式アームバーに様々な重量の重りを吊るしたときの曲がり具合を調べたところ、10kg のアームバーでは両端 5kg、計 10kg の重りを吊るしたところで最も曲がり、20kg のアームバーでは両端 10kg、計 20kg で最も曲がるのが分かった。

次に、アームバーを模したデバイスに加えた力がどのような入力値を取るかを調べるため、デジタルフォースゲージ（電子式引張計）を用い、デバイスに既知の大きさの力（0kg から 10kg まで 2kg 間隔）を加え、各荷重レベルの Arduino によって読み取られるロードセルの力入力値を記録する。これにより得られた力と実際のアームバーの曲がり具合をマッピングするため、図 2 に示すように、Blender 側でアームバーを模した 3D モデルをボーンモデルベースで作成し、キーフレームアニメーションのアニメーションカーブ（以降、BendDistributionCurve とする）によって、入力値に対応するアームバーの曲げ具合（各ボーンの角度）を決定する。

図 3 に、入力値となるロードセルの値とアームバーモデルの曲がり具合を補角で表したグラフを示す。青い線がロードセルの力入力値を示しており、オレンジ色の線が BendDistributionCurve によってアームバーモデルを変形させたときの補角の角度を示している。

ロードセルの値は非線形となっており、5kg を超えるとほぼ線形的に変化していることがわかる。アームバーの曲がり具合は入力値に対応するように BendDistributionCurve を設定することで、力の入力値と同様に非線形にアームバーを変形させる。

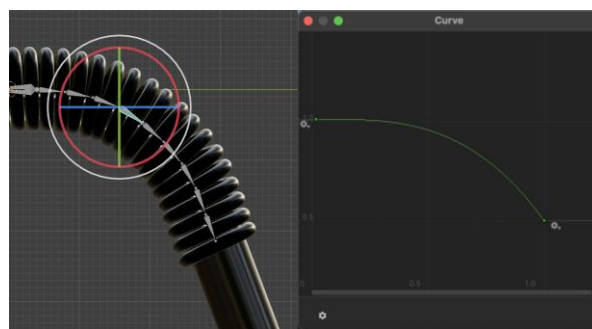


図 2: 入力値に応じたアームバーの曲がり具合の決定

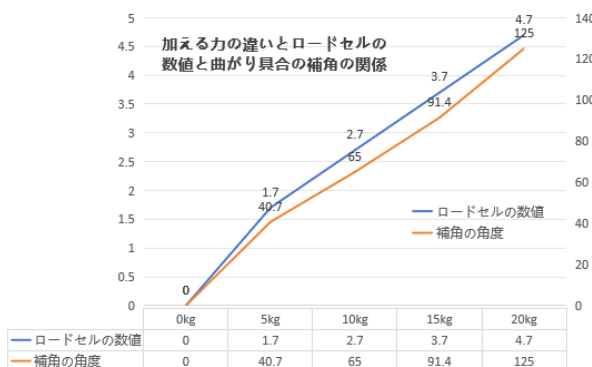


図 3: 力の入力値とアームバーの曲がり具合の関係

次に、これらの非線形マッピングを実装するため、Unity 上で動作する C# スクリプトを開発した。まず、Arduino からシリアル通信を介して送信される力センサの値をフレームごとに受信し、図 3 に示すように、取得した力センサの値を用いて、事前に定義した BendDistributionCurve から対応する曲げ補角の値を決定する。

補角の値が決定されると、スクリプトは直ちにバーチャルアームバーの 3D モデルを制御する Bones 間の角度を更新する。これにより、入力した力に応じてアームバーが変形する。また、入力値に対してゲイン値を設定することにより、アームバーを曲げやすくしたり曲げにくくしたりとユーザの好みに応じて自由に調節することができる。

4. 実装結果

図 4 にシミュレートしたアームバーと実際のアームバーの曲がり具合の比較結果を示す。



図 4: シミュレートしたアームバーと実際のアームバーの曲がり具合の比較結果

BendDistributionCurveにおいて力の入力値と同じように変形するように設定したため, 実際のアームバーにかけた力と同じようにバーチャルアームバーも変形していることがわかる.

5. むすび

本研究では, 胸筋トレーニング器具の一つであるアームバーを対象とし, アームバーを握ったユーザの手腕の各関節が中間状態(半姿勢)となるよう, また, 硬いと柔らかいの中間硬さとなるようアームバーを模したデバイスで拘束(半拘束)し, 力入力に応じてVR空間内のアームバーの曲がりやすさを視覚的に変化させることで, 力入力-視覚による位置出力によるクロスモーダル効果によってアームバーの曲げやすさを錯覚させるシステムを提案した. 実装の結果, 入力した力に応じて実際のアームバー同

様に変形させることができ, ゲイン値をかけることでアームバーの曲がりやすさを自由に調整することができ, Vive Trackerによって現実側のアームバーの姿勢に応じてバーチャルアームバーの姿勢も変化させることができた.

現状ではアバタの手が表示されないため, これについては今後の課題とする. また, 実際のアームバーと比較してリアリティや違和感等の主観評価や, 実際にトレーニング効果があるかどうかについても今後検証していく.

参考文献

- [1] Y. Ujitoko and Y. Ban: Survey of Pseudo-Haptics: Haptic Feedback Design and Application Proposals, in IEEE Transactions on Haptics, vol.14, no.4, pp.699-711, 1 Oct.-Dec. 2021.