

令和元年6月11日現在

機関番号：11101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2018

課題番号：15K12076

研究課題名(和文) 視覚認知情報と運動計画を推定するインタフェースの研究

研究課題名(英文) Detecting visual information and motor planning from EMG signals

研究代表者

星野 隆行 (Hoshino, Takayuki)

弘前大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：00516049

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：段差降下運動では、視覚、体性感覚、前庭感覚が重要であり、これらの齟齬が段差の踏み外しにつながる。そこでKinect v2とHMDを用いてリアルタイムに視覚的錯誤を生成し、踏み外しを誘発させその際の運動の解析を行った。被験者にはVR空間中に投影した被験者自身の身体と段差を提示しながら段差を降下させることで、踏み外し運動を再現させる。その結果、筋活動は視覚情報により誘導されるが、踏み外してから約100 msで反射的な修正動作が生起されることで着地の衝撃を緩和する戦略があることが示唆された。本研究から得られた知見は、踏み外し時のリスクの評価などの工学的応用につながるものである。

研究成果の学術的意義や社会的意義

加齢や疾患により四肢に障害を生じた患者は、その疾患により健常人よりも運動能力や感覚の減退を生じている。この能力の減退を評価、補助するために、姿勢制御や運動計画を検出・評価して、歩行アシストシステムや情報デバイスで補助デバイスの助けを借りる必要がある。このとき、運動の評価・補助デバイスの入力として、ヒトの主観的な感覚や次の動作決定という認知、運動計画に関わる情報を取得するインタフェースのひとつとして本研究の成果が有効である。本研究から得られた知見は、踏み外し時のリスクの評価、歩行アシストシステムの制御や負荷量をリアルタイムに定量化しインタフェースとする工学的応用につながるものである。

研究成果の概要(英文)：Visual information plays an important role in gait control during stair descent. Previous studies had explored the effect of occluded vision on taking a misstep. However, there were crucial problems that subjects were blocked of visual feedbacks of the stair height and also subject's lower limb movements. In this research, we provided these visual feedbacks during the misstep at stair. We developed real-time visual feedback system using HMD. This proposed system enabled us to present incorrect stair heights without occluding the visual information and subject's lower limb movements. We analyzed misstep movements using this real-time visual feedback system. The results of this analysis showed that characteristic pre-landing muscle responses were immediately evoked by a misstep. Moreover, we developed a system to detect missteps before missteps occurred during step descent. The classification accuracy reached 75% for most participants by 30 ms before the missteps occurred.

研究分野：ヒューマンインタフェース

キーワード：運動計画 視空間 パーチャルリアリティ 筋電位 不随意運動 踏み外し 脈波伝搬速度 交感神経

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

加齢や疾患により四肢に障害を生じた患者は、その疾患により健常人よりも運動能力や感覚の減退を生じている。この能力の減退を補助、補綴するために、歩行アシストシステムや義手、義足などのロボティックデバイスの助けを借りる必要がある。このとき、補助デバイスの動作は脳や末梢神経、筋電位などの運動時に直接検出される生体信号を用いて制御されてきた。運動ニューロンや筋電位から運動情報を抽出することは比較的容易であり、ブレイン・マシン・インタフェースや歩行アシストシステムなどの制御に有効なインタフェースである。しかしながら、より使用者の意図に沿った動作をよりすばやく実行するためには、運動情報やカーソルによるメニュー選択ではなく、脳で思考した意図、認知情報をそのまま伝達するほうがより効率的である。これまでも表面筋電位や脳波、脳血流などの非侵襲的計測手法を用いて、外骨格形アシストシステムや筋電制御義手の制御が行われてきたが、これらは運動単位や筋収縮の直接的取得を目指すものであり、インタフェースの究極的目標であるヒトの意思、意図を伝達するものではなかった。ヒトの主観的な感覚や次の動作決定という認知、意思決定に関わる情報を伝達するインタフェースが次世代のマン・マシン・インタフェースの形態として望まれる。

2. 研究の目的

操作者の意図および認知情報を直接的に外部器機に伝達し、使用者の欲する動作を効率的に補助するデバイスの開発を行う。非侵襲的な計測手段である筋電位には、主に随意運動を主体とする運動情報と、円滑な運動を形成するための無意識的な筋など末梢効果器の調整作用の情報が重畳されている。前者は従来の筋電制御義手や器機制御のためのインタフェースとして多く用いられてきた。一方で、後者の錐体外路系に由来する運動情報は活用されていない。末梢組織では、予備緊張、筋の協働的動作、末梢血流変化、発汗などとして現れることが知られており、錐体外路系を由来とする情報は、知覚心理の研究により認知情報を含んでいることがわかっている。この認知情報を用いてアシストデバイスや義肢など外部デバイスの制御および他者とのコミュニケーションツールとして使い、外部に使用者の意思に近い情報を提示するものである。

本研究手法は従来の研究が対象にしてこなかった高次情報を非侵襲、簡便に高速度に取得する試みであり、意図や認知情報を外部デバイスの制御に生かすシステムを目指すものである。

3. 研究の方法

(1) 踏み外し動作の予測

踏み外し動作の再現および解析を行うためには、運動中に「外界の情報」と「被験者自身の身体」からなる継続的な視覚情報を提示する必要がある。「外界の情報」は、両眼視差による奥行き知覚が可能、高い没入感、運動を拘束しないという点から、Head Mounted Display (HMD) を用いて Virtual Reality (VR) によって提示した。「被験者自身の身体」は、被験者を拘束せずにモーションキャプチャが可能であるという点から、Kinect v2 を用いて被験者と同じ動きをするアバターを VR 空間に表示した。本システムを段差踏み外し動作の再現に用いるためには、十分な身体性と環境再現性が必要となる。そこで、身体位置測定精度、奥行き再現精度、遅延時間の 3 点について機能評価実験を行った。この結果、段差高さ 25 [cm] 程度ならば、誤差 1 [cm] 未満の身体位置測定精度、4.5 [cm] の差分を正答率 90% 以上で弁別可能な奥行き再現精度、100 [ms] 以下の遅延時間というシステム要件を満たすことが分かった。

段差降下中に視覚的錯誤を提示する本システムによって、「踏み外し動作を再現可能であること」と「踏み外し時には特徴的かつ反射的な修正動作が生じること」を示すための実験を行った。被験者 10 名 (20 歳代、健常、男性) に対して、各条件につき 20 回の試行を行った。生体情報は左右内側広筋、左右腓腹筋、左右前脛骨筋の表面筋電位と着地時荷重を取得した。

実段差高さによらず、VR 段差高さによって段差降下運動に変化が生じたことから、本システムは視覚の齟齬により段差を踏み外すという動作を自在に再現することができるようになった。本システムを使い再現された踏み外し動作において、踏み外し後 100 [ms] 以内に生じる特徴的な不随意的筋活動の存在が示され、複数の部位における相関的な活動は心理的要因の影響下では見られなかったため、踏み外し時に特有の修正動作と考えられる。

これら筋電位の波形の特徴量から踏み外すか否かの判別を LSTM-based リカレントニューラルネットワークを用いて判別する検証を行った結果、1 人を除いた被験者において踏み外して着地する 30 ms 以前の筋電位から 75% の正答率で判別された。

(2) 自律神経活動の推定と精神負荷計測

非観血式連続血圧計により計測した血圧波形には、左心房からの駆出波と動脈や末梢組織よりの反射波が重畳された圧力波形がみられる。計測部位によって反射波が現れる時間位置は異なり、また脈波伝搬速度によっても駆出波ピークからの delay 時間は異なる。脈波伝搬速度は動脈壁の弾性との相関性により動脈硬化の程度を評価する指標として利用される。一方で、動脈には交感神経などに支配される平滑筋により血管弛緩と収縮があり、短時間的な変化として脈波伝搬速度を変化させ得る。末梢動脈よりの反射波は指尖血圧波形においては拡張期にピークとして現れるので小さな反射波波形の時間変化を検出しやすい。この拡張期に現れる反射波形と駆出波との時間差の経時変化を検出することで、交感神経由来の精神的負荷の程度を評価

することを試みた。被験者には暗算にて3ケタの整数から素数を減算し続ける作業をさせ、このときの時間差の変化を評価した。安静時との比較では、有意に時間差が短縮し、精神負荷による交感神経活動に由来するものと考えられ、拡張期ピークの現出時間差が精神負荷の程度を評価する指標となると考えられる。

4. 研究成果

段差降下運動では、視覚、体性感覚、前庭感覚が重要であり、これらの齟齬が段差の踏み外しにつながる。そこで我々はKinect v2とHMDを用いてリアルタイムに視覚的錯誤を生成し、踏み外しを誘発させその際の運動の解析を行った。本システムは、主にモーションキャプチャーのための3次元スキャナ(Kinect for Windows v2)と視覚提示装置HMDからなる。被験者にはVirtual Reality (VR)空間中に投影した被験者自身の身体と段差を提示しながら段差を降下させることで、踏み外し運動を再現させる。本手法により、踏み外し時刻を客観的に記録でき、踏み外し時に生じられる特有な生体情報をより詳細に解析可能である。

その結果、1)視覚的に踏み外しを提示した時にはより大きな着地衝撃が生じ、実験系が踏み外しを再現可能であることと、2)遊脚の前脛骨筋と支持脚の腓骨筋の筋活動が、踏み外し時に特有の活動であることを確認した。再現された「踏み外し」の動作において、遊脚前脛骨筋と支持脚腓骨筋の筋活動が踏み外し時刻とほぼ同時に増加した。この筋活動の変化は踏み外した場合にのみ観察された。これら結果から、階段降下時の筋活動は、当初視覚情報により誘導されるが、踏み外してから約100msで反射的な修正動作が生じられることで着地の衝撃を緩和する戦略があることが示唆される。また、これらの知見を利用し事前情報から踏み外すことを予測できることを示し、転倒予防や転倒リスク評価を行える指標となることを示した。

血圧波形と精神的負荷の関係を示し、精神的負荷量をリアルタイムに定量化しインタフェースとして利用可能であることは、運転中などの作業負荷量を簡便に予測でき環境制御にフィードバックするような工学的応用に資するものである。

本研究から得られた知見は、踏み外し時のリスクの評価、歩行アシストシステムの制御や負荷量をリアルタイムに定量化しインタフェースとする工学的応用につながるものである。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 5 件)

[1]熊谷 和樹 and 星野 隆行, “ 指尖動脈血圧波形における精神負荷により誘発される拡張期の反射波の到達時間の変化,” 第66回応用物理学会春季学術講演会, 東京工業大学(東京), 2019, pp. 10p-PA3-8.

[2]Koki Katsumata, Shunya Ishikawa, and Takayuki Hoshino, “ Detecting Missteps During Step Descent from EMG Signals Using Bidirectional LSTM-Based Recurrent Neural Networks,” The 40th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC2018, Honolulu, Hawaii (USA), 2018, p. FrPoS-30.50.

[3]石川峻也, 深山理, and 星野隆行, “ Kinect v2とHMDを用いた視覚的錯誤生成システムによる段差踏み外し運動の解析,” 第38回バイオメカニズム学術講演会(SOBIM2017 in OITA), 別府国際コンベンションセンター B-con Plaza(別府市), 2017, pp. 1B-1-3.

[4]芹沢信也, 満洲邦彦, and 星野隆行, “ 予備緊張により調整される膝関節剛性と着地先の床剛性との関係に関する研究,” 第35回日本ロボット学会学術講演会, 東洋大学川越キャンパス, 2017, p. RSJ2017AC3L1-01.

[5]石川峻也, 荒木望, 深山理, 満洲邦彦, and 星野隆行, “ 視覚情報に関連した歩行制御機構解明のためのHMDを用いた生体計測システムの開発,” 第17回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SICE SI2016), 札幌コンベンションセンター(札幌), 2016, vol. 3B3-4, pp. 2226-2231.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<https://sites.google.com/view/hoshino-lab/researches/>

6. 研究組織

(1) 研究分担者

該当なし

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：荒木望

ローマ字氏名：ARAKI, Nozomu

研究協力者氏名：石川 峻也

ローマ字氏名：ISHIKAWA, Syunya

研究協力者氏名：勝又航生

ローマ字氏名：KATSUMATA, Koki

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。