

学位論文

eスポーツを想定した打鍵操作に対する
スポーツ医学的検討

令和4年度

筑波大学大学院
人間総合科学学術院人間総合科学学術群
スポーツ医学学位プログラム

沖中 美世乃

目次

| | |
|--------------------------------|-----|
| 図のタイトル一覧..... | i |
| 表のタイトル一覧..... | iii |
| 用語の定義と略語..... | iv |
| 研究全体像..... | vii |
| 第1章 背景..... | 1 |
| 第1節 eスポーツとは..... | 1 |
| 第2節 eスポーツの操作の特徴..... | 4 |
| 第3節 eスポーツプレイヤーと障害..... | 7 |
| 第4節 eスポーツとスポーツ医学..... | 8 |
| 第5節 本研究の目的..... | 9 |
| 第2章 文献研究（eスポーツと打鍵）..... | 10 |
| 第3章 文献研究（静的ストレッチング）..... | 15 |
| 第4章 高校生eスポーツプレイヤーに対する実態調査..... | 22 |
| 第1節 序論..... | 22 |
| 第2節 方法..... | 23 |
| 第3節 結果..... | 24 |
| 第4節 考察..... | 31 |
| 第5節 結論..... | 35 |

| | |
|--------------------------------------|-----|
| 第5章 eスポーツを想定した打鍵操作負荷評価プロトコルの開発 | 36 |
| 第1節 序論 | 36 |
| 第2節 方法 | 38 |
| 第3節 結果 | 45 |
| 第4節 考察 | 59 |
| 第5節 結論 | 65 |
| 第6章 打鍵操作に対する静的ストレッチングの効果の検証..... | 66 |
| 第1節 序論 | 66 |
| 第2節 方法 | 67 |
| 第3節 結果 | 71 |
| 第4節 考察 | 76 |
| 第5節 結論 | 79 |
| 第7章 総合考察..... | 80 |
| 引用文献..... | 83 |
| 研究業績..... | 100 |
| 謝辞 | 101 |

図のタイトル一覧

- 図 1 入力数、入力時刻、入力間隔
- 図 2 e スポーツと運動器に関する共通点が想定される分野
- 図 3 スポーツと e スポーツの研究数と研究分野の比較
- 図 4 高校生 e スポーツプレイヤーの愁訴の有無と愁訴部位
- 図 5 高校生 e スポーツプレイヤーのセルフケアの状況
- 図 6 連続高速打鍵を行ったキーボードと手の位置
- 図 7 打鍵実験の際のモニター画面例
- 図 8 打鍵入力記録プログラム
- 図 9 主観的疲労感の変化
- 図 10 筋硬度の変化
- 図 11 平均入力速度の経時変化
- 図 12 表面筋電図の例 (区間 100ms の RMS 値)
- 図 13 撮影動画の例
- 図 14 入力数、入力時刻と入力間隔の例
- 図 15 入力数(入力速度)と入力間隔の経時変化の例

- 図 16 入力時刻と筋活動の照合の例
- 図 17 入力記録、表面筋電図、撮影動画の照合の例
- 図 18 入力時刻、筋活動と撮影動画の照合によって検出可能な内容
- 図 19 静的ストレッチングの検証実験のフロー
- 図 20 主観的疲労感の変化
- 図 21 筋硬度の変化
- 図 22 10 打ごとの所要時間の経時変化
- 図 23 10 打ごとのミスタッチ数の経時変化
- 図 24 スポーツ医学における e スポーツ

表のタイトル一覧

表 1 打鍵に類似した動作の先行研究一覧

表 2 ストレッチングの効果に関するシステマティックレビュー一覧

表 3 高校生 e スポーツプレイヤーのプレイ時間

表 4 高校生 e スポーツプレイヤーの睡眠時間

表 5 入力記録、表面筋電図、撮影動画での得られる情報の違い

用語の定義と略語

本研究で用いた主な用語の定義及び略語は以下の通りである。

- eスポーツ（読み イースポーツ）

コンピュータゲームを競技として捉える際の名称であり、electronic sportsの略称である。一般社団法人日本eスポーツ連合の定義¹⁾は、広義には電子機器を用いて行う娯楽、競技、スポーツ全般を指す言葉であり、コンピュータゲーム、動画ゲームを使った対戦をスポーツ競技として捉える際の名称“としている。ゲームの内容はさまざまなジャンルや種類がありゲームごとに専門にするプロプレイヤーがいる。

本論文では主に、文部科学省後援の高校生eスポーツ大会で種目となった「League of Legend(リーグ・オブ・レジェンド)」「Fortnite (フォートナイト)」のようなゲームを想定する。これらは画面の中のキャラクタをマウスやキーボードによって操作し他のプレイヤーと競う。どちらもパソコンに無料でダウンロードおよび参加することができる。

- 従来スポーツ

野球、サッカー、陸上競技といった一般に“スポーツ”と呼ばれる競技については、本論文では“従来スポーツ”と記載する。

- 入力時刻、入力数、入力速度、入力間隔

パソコンキーボードの連続打鍵の入力の時刻を記録し、開始合図から1回目の入力を開始基準の0秒とし、2回目の入力を1打目として算出した。1打目以降から終了合図まで入力のあった時刻を「入力時刻」として「入力

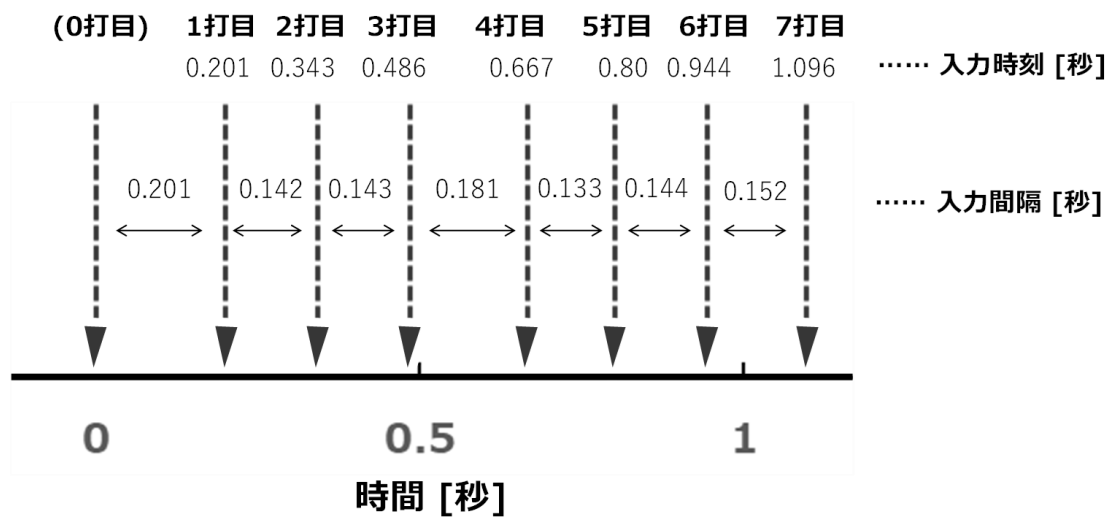
数」を算出、30秒までの各1秒間の入力数を「入力速度」、次の入力までの時間、つまり1打目から2打目、2打目から3打目の所要時間を「入力間隔」と定義した（図1）。

- ミスタッチ

パソコンキーボードの打鍵を行った際に、打鍵する動作を行ったが入力が記録されなかったものを、ミスタッチと定義する。

- visual analog scale (VAS)

痛み等の症状を数値データとして示す評価指標で、左端が「症状なし」、右端が「想像できる最大の症状」とした長さ10cmのスケールが記載された用紙を使い、被験者が現在の症状がどの程度かを自ら記入する視覚的なスケールである。

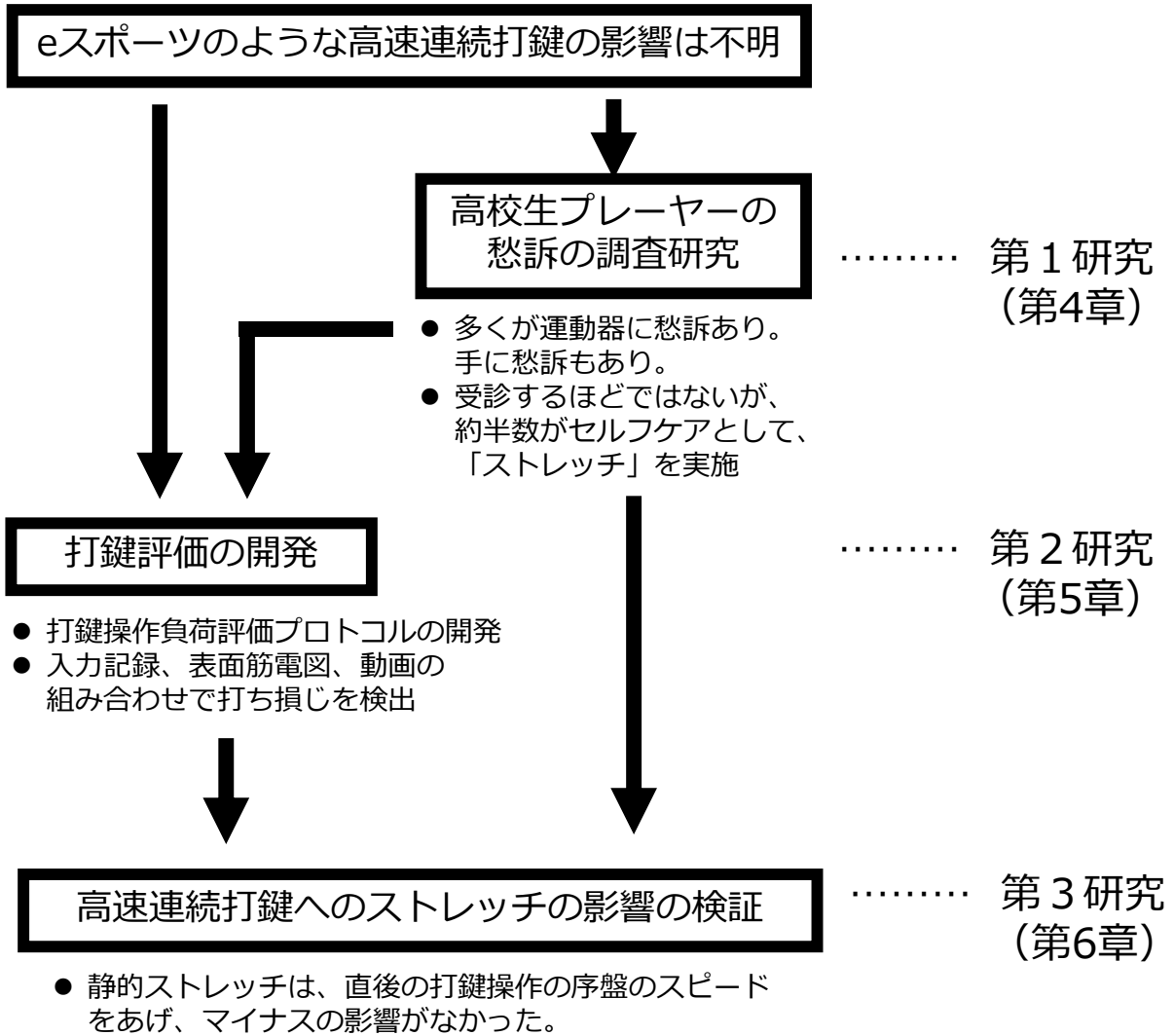


矢印: 入力記録のあった時刻
 0~1 秒の間の打数は、6 打

図 1 入力数、入力時刻、入力間隔

研究全体像

- eスポーツは若い世代を中心に世界的な人気
- 腕の故障で引退するプレイヤーもいる
- 1分間に500~600操作、非日常的な速さと量、使い方



第1章 背景

第1節 eスポーツとは

eスポーツとは、electronic sportsの略称であり、コンピュータゲームを競技として捉える際の名称である。一般社団法人日本eスポーツ連合は、“「eスポーツ(esports)」とは、「エレクトロニック・スポーツ」の略で、広義には電子機器を用いて行う娯楽、競技、スポーツ全般を指す言葉であり、コンピュータゲーム、動画ゲームを使った対戦をスポーツ競技として捉える際の名称”と定義している¹。

若い世代を中心にプレイヤーが増加しており、人気ゲームでは世界大会が開催され、賞金総額が1000万ドルに達するものもある。アメリカの17歳の少年がゲーム「Fortnite」の世界大会で300万ドルの賞金を獲得したことも大きな話題となった²。プレイ動画は世界中に放映されショービジネスになりつつある。コンピュータゲームにおいてもゴルフやテニスなどのように賞金を目指して戦う競技となった³。eスポーツの人気は、サッカーや野球のように、プレイヤーとそれを観戦する観客および中継の視聴者から構成されている⁴。

2022年、世界のeスポーツ市場は13億8000万米ドル強、2025年には18億7000万米ドルに達すると予測されている。2022年時点で、全世界のeスポーツの視聴者数は5億3,200万人に達し2025年までに6億4,000万人を超えると予想されている⁵。日本でもゲーム大会自体は20数年前から開催されていたが、賞金などが発生しない大会であった。2000年頃から海外メディアで“eスポーツ”という語が使われるようになったが、日本では2018年にeスポーツの普及を目的とし

た団体の発足、eスポーツ事業への参入するゲーム会社やゲーム関連企業の急増、国内でのeスポーツ大会の開催の増加、マスメディアがeスポーツを取り上げ、eスポーツという言葉が普及したといわれる^{4,6-8}。

eスポーツは、日本学術会議の「科学的エビデンスを主体としたスポーツの在り方」においても取り上げられ⁹、経済産業省と文部科学省がeスポーツの支援をしている。文部科学省後援の2020年のeスポーツ高校選手権には、1,779の学校から参加があった¹⁰。eスポーツクラスやeスポーツクラブを設けている学校、科学クラブやコンピュータクラブの一部としてeスポーツを行っている学校があり、eスポーツを高校の公式活動に取り入れる動きがある。

1対1で戦うゲームもあれば、チーム戦のゲームもあり、ゲームの種類はさまざまである。「いきいき茨城ゆめ国体」の文化プログラムの一環として、国民体育大会史上初となるeスポーツ大会「全国都道府県対抗eスポーツ選手権2019 IBARAKI」が開催された。そこでは、サッカーゲーム、自動車レース、パズルゲームが行われた。一方、文部科学省後援の高校生eスポーツ大会で行われたゲームでは「League of Legends(リーグ・オブ・レジェンド)」「Fortnite (フォートナイト)」などのチームでの対戦ゲームが行われている。「League of Legends」は5人対5人の陣取りゲームで、チーム内で役割分担し相手チームの本拠地の破壊を目指す。「Fortnite」とは、100人のプレイヤーが、ひとつの仮想の島に上陸し武器やアイテムを収集しながら最後の1人に生き残ることを目指す。どちらも世界的に人気が高いゲームで、競技大会の開催中にマークした最高同時視聴者の報告では、Fortnite World Cup2019では約230万人、2019

World Championship (League of Legends) では約4,400万人といわれている。
ゲームによってジャンルや操作方法がさまざまであり、使用するデバイスもパソコン、スマートフォンなど異なる。本研究では、高校生eスポーツ大会で行われたようなパソコンを使ったゲームを想定する。

第2節 eスポーツの操作の特徴

eスポーツは、多くのゲームがパソコンとインターネット環境さえあれば、ゲームを無料でダウンロードできるため、若年者から高齢者、性別や国籍、障害の有無を問わず、誰でも参加が可能である。従来スポーツでは、体格や筋力といった身体的要素によって勝敗が左右される。しかし、eスポーツでは体格や筋力の差はあまり影響がないため、子供であっても大人と対等に競うことができる場合も多い。10代のプレイヤーが世界大会で優勝するなど²、若いプレイヤーが活躍する土壌はあり、ますます若年化する可能性もある。

パソコンを使ったコンピュータゲームでは、マウスとキーボードを使う。マウスとキーボードの操作は、一般のパソコン操作と共通する操作もあるが、操作の速さ、操作量が異なる。例えば、左手でキーボードを使い、画面の中のキャラクターを「W」で前、「A」で左、「S」で後ろ、「D」で右、のように移動させ、右手のマウスで照準をあわせ攻撃を実行する等、ゲームごとにさまざまな操作がある。日常生活における使用頻度の少ない左薬指や左小指も駆使し、1分間に500～600の操作をすることもある。

eスポーツの勝敗は運だけでは決まらず、プレイヤーの戦略や操作テクニックで左右される。目まぐるしく変わる戦況に、瞬間的または俯瞰的な判断を下し、最適な操作を行う。特殊な操作やタイミングを習得するために、トッププレイヤーは毎日膨大な練習を重ねる。eスポーツは、従来スポーツとは運動様式は異なるが、大会での勝利を目指し、トレーニングを積む訓練構造は共通するものがある。

モニターを凝視し、キーボードとマウスを操作することは、パソコンワーカーと類似している。膨大で高速な打鍵操作は、ピアニストの動作と類似している。よりよいパフォーマンスを目指し膨大な量の練習を行う点は、音楽とも従来スポーツとも共通点がある。しかし、パソコンワーカーやピアニストでは、想定した内容を入力する、もしくは演奏するものであるが、eスポーツは、相手よりもより素早い動作を求め、相手の動きに咄嗟に対応等、相違点もある。予測不可能な相手の動きや環境の変化に適応することは、対人競技の従来スポーツと共通している。しかし、従来スポーツでは全身または大きな筋を使うがeスポーツは手指の小さな筋を使用する等、運動様式が異なる。eスポーツは、ピアノ、パソコン、従来スポーツと共通する要素、異なる要素があり、(i)手指の動作 (ii)膨大な反復練習 (iii)相手に対する咄嗟の動作を含むと考えられる(図2)。

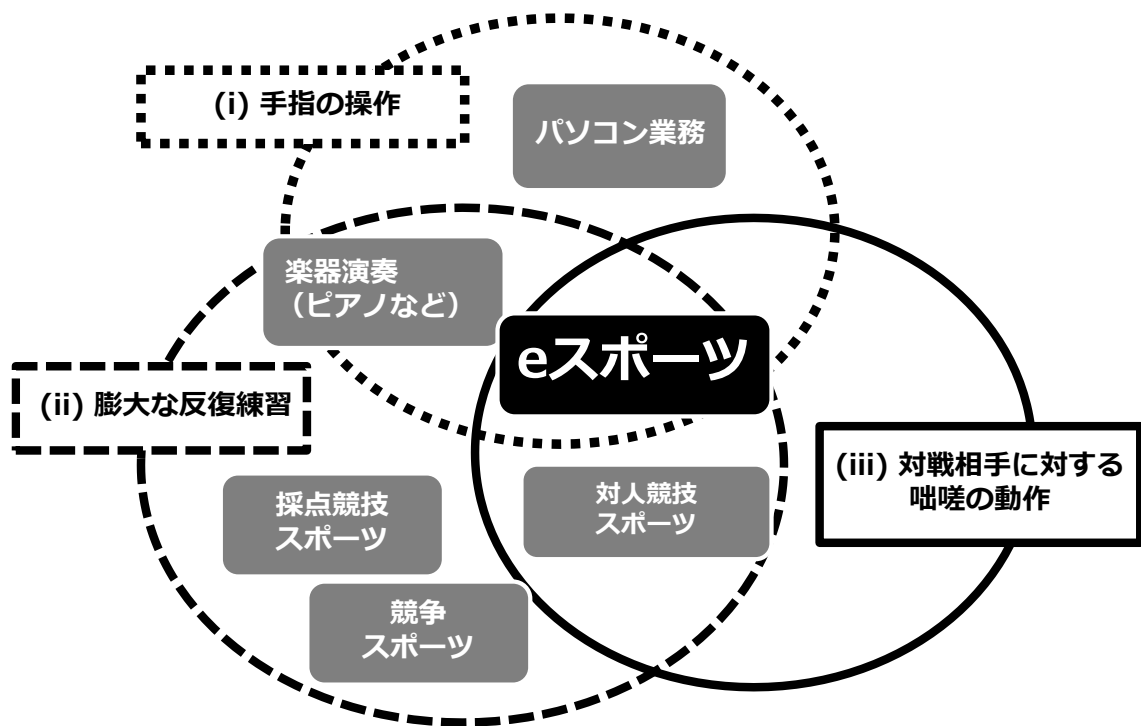


図 2 eスポーツと運動器に関する共通点が想定される分野

第3節 eスポーツプレイヤーと障害

eスポーツにおいて、プレイヤーが故障で引退する記事が散見されるようになった。中国では15歳でプロキャリアをスタートさせ、NIKE社と初のスポンサー契約を果たしたスタープレイヤーが、肩の痛みにより23歳で引退し¹¹、他にも著名なプレイヤーが、手首や手の故障により20代で引退している¹²。アメリカのEmaraら¹³は、eスポーツの一般的な筋骨格系および健康上のリスクを挙げ、ヘルスガイドを提案しており、eスポーツでは長時間の同一姿勢、長時間の画面凝視、何百という反復運動が特徴的であり、潜在的なリスクとして頭痛、ドライアイ、視覚的緊張、心理的および行動上の問題、頸部、胸部および腰部の痛み、肩、肘および手首の酷使、手根管症候群、肘部管症候群、過剰な体重増加、臀部および坐骨の痛み、ハムストリングの痛みの可能性があるとしている。Zwibelら¹⁴は、オステオパシー医として、頸椎、腰椎、上肢の機能不全を含む筋骨格系の損傷を負う可能性があるとして指摘している。

多くの打鍵をするという点で共通するピアニストについては、ピアノを専攻する高校生の調査結果で、63人中29人(46%)が手や指の痛みを経験していると報告している¹⁵。これらは指の頻繁な使用が、問題を引き起こす可能性があることを示唆している。パソコン業務ではVDT症候群^{16,17}、ピアノでは演奏関連筋骨格系障害^{15,18}、スポーツでは使いすぎ障害^{19,20}のように、運動器を酷使することでそれぞれ体に負担があることが指摘されており、その予防策が講じられている。

第4節 eスポーツとスポーツ医学

従来スポーツでは、若い世代の運動器の使いすぎによる障害があるという概念は一般的である。同じ部位を反復することで微小な損傷が蓄積し、疲労した組織が十分に回復しないまま運動を継続すること等で、疼痛や機能障害を生じる²¹。eスポーツは高速で膨大な打鍵を繰り返すことから、スポーツにおける使いすぎ症候群のような“eスポーツ障害”の可能性が考えられる。

メディカルリハビリテーション、いわゆる一般的なリハビリは、リハビリの結果として日常動作がスムーズにでき、社会復帰できるようになることを目的としている。疼痛緩和や機能回復が目標であり、安静が第一である。それに対して、アスレティックリハビリテーションは、スポーツによる怪我や不調の回復の他、パフォーマンスの向上や怪我の再発防止を目的として実施される。競技の特性にあわせ、競技者の希望に応じてサポートを行う。競技者にとって、疼痛緩和が目的の場合もあれば、目標とする大会で最高のパフォーマンスができることを優先される場合もある。eスポーツプレイヤーに対しても、アスレティックリハビリテーションとしてケアが必要となる可能性がある。

eスポーツにおける高速連続打鍵の反復が使いすぎ症候群、“eスポーツ障害”を引き起こすとするれば、スポーツ医学で行われてきた知見を取り入れることで、プレイヤーの身体の負担を軽減することができ、スポーツ医学にとっても新たに貢献できる分野の開拓として利点があると考えられる。

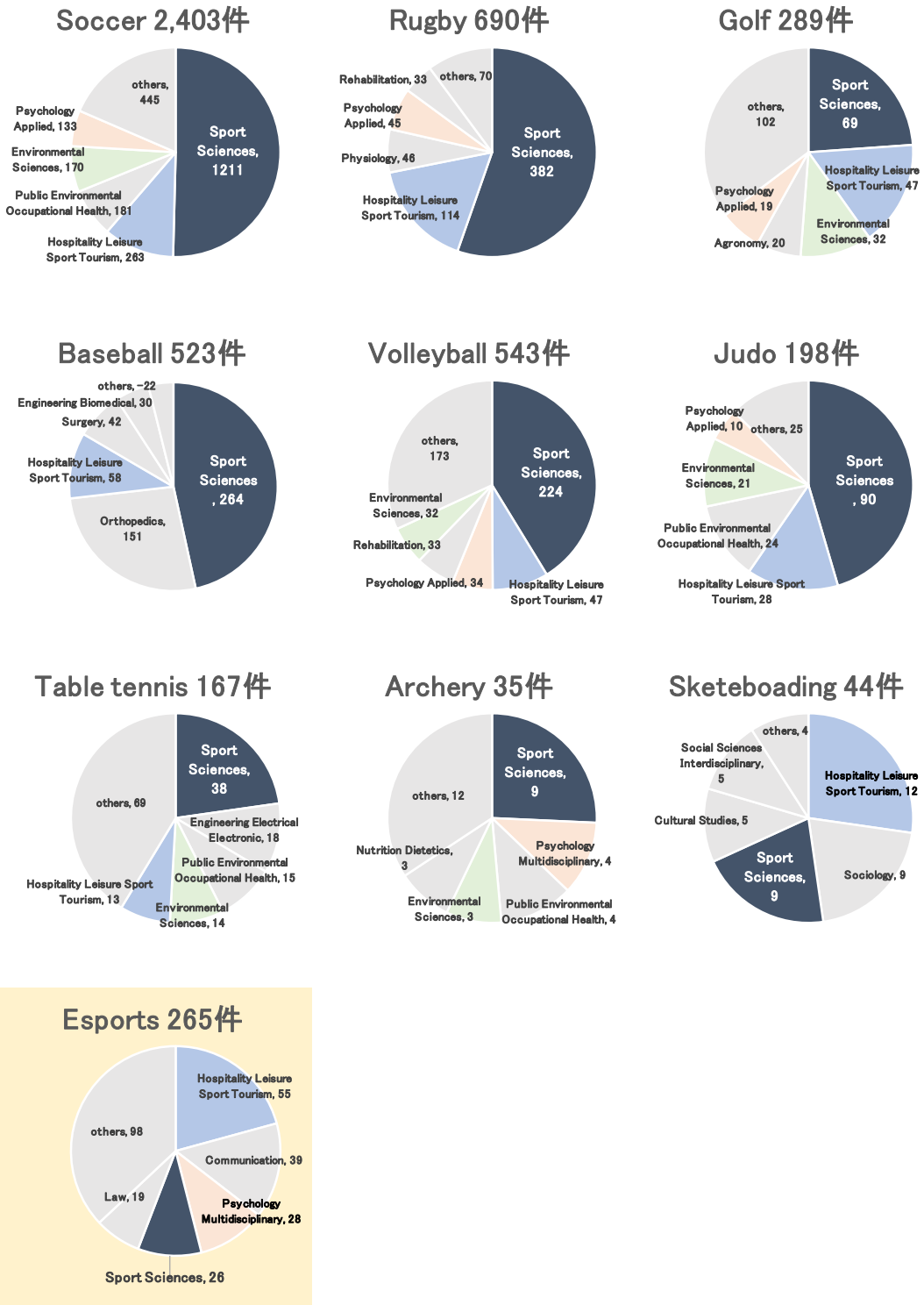
第5節 本研究の目的

eスポーツはマウスやキーボードによる膨大で高速な操作が特徴の1つであるが、トッププレイヤーが若くして腕の故障で引退しているという現状、プレイヤーが過剰と思われる練習を行っている可能性があること、若いプレイヤーが多いことから、従来スポーツにおける使いすぎ症候群のような“eスポーツ障害”があると考えた。そこで本研究では、高速連続打鍵は負荷があるという仮説から、若いプレイヤーの現状を把握し、負荷があるとすればそれに対する有効な介入の方略を明らかにすることを目的とした。

第2章 文献研究(eスポーツと打鍵)

eスポーツは新しい領域であるが、海外における研究論文数は着実に増加している。図3に、Web of Scienceにおいてeスポーツに関する先行研究数を、従来のスポーツと比較して示した(2022年1月検索)。従来スポーツは、競技人口が多いメジャーなスポーツ、東京オリンピックの新種目である比較的新しいスポーツを選択した。

“eスポーツ”という語が使用されている論文は、2005年以降に増加している。eスポーツは、従来スポーツとカテゴリを比較すると図3のように、Hospitality Leisure Sport Tourism、Communication、Psychology Multidisciplinaryといった研究分野の割合が多い。スポーツ医学として先進的な分野であり、今後、スポーツ分野としての研究が隆盛すると予想される。



2022年1月検索

図3 スポーツとeスポーツの研究数と研究分野の比較

eスポーツの研究論文の中で、プレイヤーの身体的愁訴に着目した研究では米国とカナダの大学生eスポーツプレイヤーを対象とした調査²²、デンマークのプロeスポーツプレイヤーを対象とした調査²³があり、目の疲れ、頸肩部の痛みや手の痛みなどが報告されている。しかし、本邦における報告は短報²⁴以外では見当たらない。

eスポーツプレイヤーの身体に着目した研究は、視覚、聴覚の反応速度や目と手の協調能力²⁵、eスポーツが心臓血管系とエネルギー消費に与える影響²⁶、eスポーツプレイヤーの睡眠特性²⁷、eスポーツプレイヤーの軽度運動と実行能力への影響²⁸などの研究が行われている。今までにない新しい競技に対して、さまざまな面からのアプローチがなされている。これまで、eスポーツの特徴として高速打鍵操作をあげているものはあるが^{13,14}、実験によって打鍵の速さや負荷に焦点を当てた研究はない。

eスポーツの打鍵操作に注目した研究は見当たらないことから、指を動かすという動作で類似する研究について調査した。指を動かす操作は、わが国では1940年代に身体能力テストの1つとして行われている報告がある²⁹。急速反復動作、フィンガータッピングという語で、体育の分野で上肢の敏捷性の評価^{30,31}、加齢の影響³²、医学分野では上肢末梢神経損傷³³、パーキンソン病³⁴、精神疾患³⁵などの疾患との関連、音楽の分野ではピアニストの動作分析³⁶、産業の分野では振動障害の検査³⁷など多岐にわたる分野で研究が行われている。測定方法は、指頭のセンサーの接触回数³⁸、キーボードのキー押下回数⁴¹、指に取り付けたセンサーの移動から検出した中手指節関節の屈伸回数など、様々な方法が採用さ

れていた。表1に、被験者がeスポーツのコア層と近い若年層の健常者であり、指の動作速度を評価している研究をまとめた。

打鍵に類似した動作の先行研究では、多くが右示指でのタッピング速度に関する研究であり、右示指のタッピング速度は約 5.1~6.1 Hzであり、10秒以上の連続して打鍵することで徐々に減速することが報告されていた。また、指によってタッピング速度は異なり、右示指が最も速く、左薬指、左小指が最も遅い⁴¹ことが報告されていた。これまでの研究は、上肢の敏捷性や基礎的な運動能力の評価の1つとして実施されており、動作の概要は類似しているが、より速く打つことを目的とした研究や、そのときの負荷に着目した研究は見当たらず、打鍵の負荷を知る資料がないことがわかった。

表 1 打鍵に類似した動作の先行研究一覧

| | 論文 | 掲載誌 | 課題 | 対象 | 打鍵類似動作の 1 秒間の動作速度 | | | | | | | |
|----|--|---------------------------|-----------------------|------------------------------------|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | | | | 右 | | | | 左 | | | |
| | | | | | 示指 | 中指 | 薬指 | 小指 | 示指 | 中指 | 薬指 | 小指 |
| 1. | Aoki et al., (2003) ³⁸ | Exp. Brain Res. | フィンガータッピング (7 秒) | 男 18-32 歳 n = 12 | 5.9 Hz | 5.6 Hz | 4.5 Hz | 4.8 Hz | | | | |
| 2. | Hervé et al., (2005) ³⁹ | Neuroimage | 小型カウンターのつまみ押下(10 秒) | 男 22.8±2.8 歳 右利き n = 56 | 5.8 Hz | | | | 5.1 Hz | | | |
| | | | | 男 21.6±2.5 歳 左利き n = 55 | 5.3 Hz | | | | 5.5 Hz | | | |
| 3. | Thomas Gualtieri and Johnson, (2006) ⁴⁰ | Arch. Clin. Neuropsychol. | パソコンキーボード押下(10 秒) | 男女 20-29 歳 n = 153 右利き 89.5% | 6.1 Hz | | | | 5.7 Hz | | | |
| 4. | Ekşioğlu and İşeri, (2015) ⁴¹ | Hum. Factors | パソコンキーボード押下(60 秒) | 男 18-29 歳 右利き n = 12 | 5.1 Hz | 5.2 Hz | 4.8 Hz | 4.7 Hz | 4.5 Hz | 4.4 Hz | 4.3 Hz | 4.0 Hz |
| | | | | 左利き n = 1 | 5.4 Hz | 5.4 Hz | 5.5 Hz | 5.3 Hz | 6.1 Hz | 5.8 Hz | 5.7 Hz | 5.7 Hz |
| 5. | Thomas et al., (2019) ⁴² | Sports | スマートフォン画面のタッピング(10 秒) | e スポーツプレイヤー 男 21±2.0 歳 | 7.4 Hz | | | | 7.1 Hz | | | |
| 6. | Rodrigues et al., (2009) ⁴³ | Exp. Brain Res. | 指の屈伸(20 秒) | 男女 21-51 歳 右利き n = 10 | 5.4 Hz → 4.0 Hz※ | | | | | | | |
| 7. | Teo et al., (2012) ⁴⁴ | Exp. Brain Res. | 指の屈伸(10 秒) | 男女 21-32 歳 右利き n = 10 | 6.3 Hz → 5.4 Hz※ | | | | | | | |
| 8. | Bächinger et al., (2019) ⁴⁵ | Elife | フィンガータッピング (30 秒) | 男女 29.5±6.5 歳 n = 12 右利き 91% | 6.7 Hz → 6.1 Hz※ | | | | | | | |
| 9. | Soto-Leon et al., (2020) ⁴⁶ | Hum. Mov. Sci. | 指の屈伸(120 秒) | 男女 18-47 歳 n = 26 | 5.7 Hz → 4.7 Hz※ | | | | | | | |

※は、所定時間内の経時変化を示す。

第3章 文献研究(静的ストレッチング)

eスポーツでは、プレイヤーの体への影響は不明であり、適切な練習量や必要な休養についての指針はできていない。練習の疲労を取り除くには、従来スポーツと同様に十分な睡眠や休息、運動、食事などの他、適切なケアを行うことで回復を促すことも大切である。日常的にケアを行うためにはセルフケアが必要である。セルフケアの方法には、温熱刺激や冷却刺激、振動刺激、電気刺激、マッサージ、ストレッチング等さまざまな方法がある。

静的ストレッチングは、ターゲットとなる筋群に対して反動をつけずに関節可動域までゆっくりと伸展させ20～30秒保持する。ゆっくりと伸ばすことで伸展反射は生じにくく、筋の損傷を引き起こす可能性が低いため、安全に行うことができるといわれており、古くから競技前のウォームアップに行われてきた⁴⁷。eスポーツにおいても、電子機器のあるデスク回りで自分の感覚で刺激量を調整でき、特別な器具を必要とせず取り入れやすいと考えられる。Emaraら¹³はeスポーツプレイヤーのケアとしてストレッチングを勧めている。eスポーツでは短い休憩時間で次々とゲームを行う場面がある。休息中に速く回復させる方法があれば競技にも有利であると考えられる⁴⁸。

しかし、近年の研究では、スポーツの前に静的ストレッチングを行うと、最大発揮筋力やパフォーマンス低下といった悪影響が誘発されることが報告されている。システマティックレビューも数多く発表されていることから、表2に直近10年の静的ストレッチングに関するシステマティックレビューの結果を示した。

表 2 ストレッチングの効果に関するシステマティックレビュー一覧

| 著者 発行年 | 雑誌 | レビューテーマ | レビュー 論文数 | 結論 | | |
|---|----------------------------------|--------------------------------------|-------------|---|--|--|
| | | | | 肯定的な効果 | 肯定でも否定でもない効果 (効果がない、結論が出ない) | 否定的な効果 |
| 1. Herbert et al. (2011) ⁴⁹ | Cochrane Database Syst Rev | 遅発性筋肉痛の発症 に対する運動前後の ストレッチングの効果 | 12 件 | | <ul style="list-style-type: none"> 遅発性筋肉痛 (臨床的に意味ある減少なし) | |
| 2. 森山(2011) ⁵⁰ | 理学療法学 | 運動器疾患ならびに 症状に対するストレッチング 単独の効果 | 25 件 | <ul style="list-style-type: none"> 足関節背屈制限 肩関節周囲炎 腰痛 変形性膝関節症 ハムストリングス損傷 足底腱膜炎 頸部痛 線維筋痛症 | <ul style="list-style-type: none"> 膝関節屈曲拘縮、 脳卒中後の上肢障害 (効果は見いだせず) | |
| 3. Kay(2012) ⁵¹ | Med Sci Sports Exerc | 静的ストレッチングの パフォーマンスへの急性 効果 | 106 件 | | <ul style="list-style-type: none"> 30 秒未満、30～45 秒では パフォーマンスへ有害な 影響なし。 | <ul style="list-style-type: none"> 60 秒以上はパフォーマンス へ有意な減少の可能性 が高い。 |
| 4. Rogan et al. (2013) ⁵² | Asian J Sports Med | フットボール選手のハム ストリングスの怪我 予防 | 35 件 | | <ul style="list-style-type: none"> ハムストリングスの怪我 予防(結論出ず) | |
| 5. Lewis (2014) ⁵³ | Orthop Nurs | 怪我の予防に対する ストレッチングの効果 | 11 件 | | <ul style="list-style-type: none"> 怪我の予防(結論出ず) | |

| 著者 発行年 | 雑誌 | レビューテーマ | レビュー 論文数 | 結論 | | |
|--|---|-------------------------------------|-------------|--|--|---|
| | | | | 肯定的な効果 | 肯定でも否定でもない効果 (効果がない、結論が出ない) | 否定的な効果 |
| 6. Apostolopoulos et al. (2015) ⁵⁴ | Front Psychol | ストレッチング強度と位置 | 152 件 | | <ul style="list-style-type: none"> 強度と位置(結論出ず) | |
| 大塚ら (2015) ⁵⁵ | 千葉科学大学 紀要 | ストレッチングが心身に与える効果 | 15 件 | <ul style="list-style-type: none"> リラクゼーション効果 抑うつ気分や緊張、不安の改善、気分爽快感 | | |
| 7. Becerra Fernandez and Merino-Marban (2015) ⁵⁶ | Timisoara Physical Education & Rehabilitation Journal | 6～11歳の学童への体育授業のハムストリングスの柔軟性 | 8 件 | <ul style="list-style-type: none"> ハムストリングスの柔軟性 | | |
| 8. Behm et al. (2016) ⁵⁷ | Appl Physiol Nutr Metab | パフォーマンス、可動域 (ROM)、および怪我の予防に及ぼす影響を比較 | 125 件 | <ul style="list-style-type: none"> 急性 ROM 急性筋肉損傷の軽減 | <ul style="list-style-type: none"> 怪我のリスク(結論出ず) | <ul style="list-style-type: none"> パフォーマンス(垂直跳び高さ、短距離走の時間、1-RM チェストプレスおよびベンチプレス、最大随意筋収縮(MVC))。 60 秒以上で障害 時間がたてば回復 パフォーマンスが大幅に低下 パワー、スピードよりも強度が低下 |

| 著者 発行年 | 雑誌 | レビューテーマ | レビュー 論文数 | 結論 | | |
|---|-------------------------|---|-------------|------------------------------------|--------------------------------|--------|
| | | | | 肯定的な効果 | 肯定でも否定でもない効果 (効果がない、結論が出ない) | 否定的な効果 |
| 9. Medeiros et al. (2016) ⁵⁸ | Physiother Theory Pract | 健康な若年成人のハムストリングの柔軟性に対する静的ストレッチの影響を調査 | 19 件 | • ハムストリングの柔軟性 | | |
| 10. Mine et al. (2016) ⁵⁹ | Man. Ther. | 最大筋力と機能的パフォーマンスに対するストレッチの急性効果(日本語論文を対象) | 7 件 | | • 最大筋力と機能的パフォーマンス(結論出ず) | |
| 11. Mine et al. (2017) ⁶⁰ | J Sport Rehabil | 肩後部緊張と肩関節内旋障害 | 8 件 | • 無症候性の若年被験者の肩後部緊張と肩関節内旋障害 | | |
| 12. Medeiros and Lima (2017) ⁶¹ | Hum Mov Sci | 筋パフォーマンスに対する慢性的なストレッチの影響 | 28 件 | | • 筋パフォーマンス(結論出ず。) | |
| 13. Borges et al. (2018) ⁶² | Eur J Physiother | ハムストリングの柔軟性に対する効果 | 19 件 | • ハムストリングの柔軟性 | | |
| 14. Freitas et al. (2018) ⁶³ | Scand J Med Sci Sports | 筋腱の構造特性に対するストレッチトレーニングの影響 | 26 件 | • 関節の抵抗、筋肉の構造、筋肉の硬直、および腱の硬さにわずかな効果 | | |
| 15. Medeiros and Martini (2018) ⁶⁴ | Foot | 足首の背屈可動域に及ぼす慢性的な影響 | 20 件 | • 健常者の足首の可動性 | | |

| 著者 発行年 | 雑誌 | レビューテーマ | レビュー 論文数 | 結論 | | |
|---|-------------------------|---|-------------|------------|--------------------------------|--------|
| | | | | 肯定的な効果 | 肯定でも否定でもない効果 (効果がない、結論が出ない) | 否定的な効果 |
| 16. Wanderley et al. (2019) ⁶⁵ | Physiother Theory Pract | 可動域に対する固有受容神経筋促進(PNF)の有効性 | 46 件 | | • 可動域(結論出ず) | |
| 17. Cayco et al. (2019) ⁶⁶ | Phys Ther Sport | ホールドリラックスおよびコントラクトリラックスストレッチングがハムストリングスの柔軟性に及ぼす影響 | 39 件 | • 柔軟性の即時効果 | | |
| 18. Becerra-Fernández et al. (2020) ⁶⁷ | Cult Cienc Deporte. | 体育授業のストレッチングの高校生のハムストリングスの柔軟性への影響 | 11 件 | • 柔軟性 | | |
| 19. Vialleron et al. (2020) ⁶⁸ | F1000Res | ストレッチングは歩行(歩行速度や歩幅など)への影響 | 12 件 | | • 歩行速度や歩幅などへの影響(結論出ず。) | |

システマティックレビューは柔軟性に関する報告が多く、柔軟性には肯定的な結果を示したものが多かった。運動に関しては、Behmらのシステマティックレビュー⁵⁷では、60秒以上のストレッチングでパフォーマンスが大幅に低下するとしている。その中で、パフォーマンスの種類別では、power-speed系のパフォーマンス（ジャンプ、スプリントランニング、投擲）は、52研究82件のアウトカムで変化に有意差なし56件、有意な減少21件、有意な改善5件があり、全体としてパフォーマンスは1.3%の低下、strength系のパフォーマンス（1RM(Repetition Maximum)、MVC(Maximal voluntary contraction)）は、76研究188件のアウトカムで有意差なし79件、有意な減少108件、有意な改善1件を示し、全体としてパフォーマンス4.8%の低下という結果で、strength系のほうが影響が大きいとしている。ただしストレッチ時間に関して、ower-speed系パフォーマンスでは 1.5 ± 1.6 分、strength系パフォーマンスでは、 5.1 ± 4.6 分であり、ストレッチ時間が長いとパフォーマンス低下が大きくなるとも考察しているが、傾向は明らかではない。また、ストレッチングの研究の多くが下肢の筋を対象としており、上肢の筋を対象としたものは少ない。例えばKayら⁵¹のシステマティックレビュー106件の分析の中で、股関節伸筋60件、膝屈筋72件、足底屈筋73件の論文で対象とされているのに対し、上腕三頭筋は4件、上腕二頭筋は2件、前腕屈筋は2件である。上肢へのストレッチングに着目すると、Torresらの研究⁶⁹では、握力について手関節屈筋および手関節伸筋の静的ストレッチング実施の有無で比較し、ストレッチング非実施群では握力の低下はなかったが、実施群では握力が低下したと報告されている。Knudsonらの研究⁷⁰で

は、握力について、手関節屈筋の静的ストレッチング実施の有無で比較しており、静的ストレッチングを長く行うほど、つまり40秒以上行くと握力は有意に低下したと報告されている。このように握力に関する報告はあるが、打鍵のような動作に関する報告はない。

上肢の筋と下肢の筋では筋の大きさ、太さ、組成が異なり、筋力、持久力、スピードの発揮の仕方といった筋の特性が大きく異なる。下肢の筋で検証されていることが、上肢の筋にも当てはまるのか不明である。静的ストレッチングは強度が低く動きが少ないため安全だが、方法によっては効果を十分に期待することができない。eスポーツにおける打鍵操作に効果的なストレッチングの方法は不明であり、より最適な条件を模索する必要があると考えられる。

第4章 高校生eスポーツプレイヤーに対する実態調査

第1節 序論

これまでeスポーツでは、海外の大学生プレイヤー²²やプロプレイヤー²³の愁訴についての報告はあるが、本邦の若い層のeスポーツプレイヤーに関する実態はわかっていない。eスポーツでは、子供から始めており10代で活躍するプレイヤーがいる²等、プレイヤーは若年者に多い。成長期における過剰な負荷により身体の成長や成人後の日常生活動作（ADL）に影響があってはならない。

従来スポーツの調査では、高校生、大学生といった学校による属性の調査が行われている。学校という区分であれば、一定の類似性のある集団が抽出できる。また、野球であれば全国高等学校野球選手権のように、公式の大会に参加したプレイヤーであれば、プレイヤーの競技レベルもある程度整理できると考えられた。

そこで、本研究では文部科学省後援の高校生eスポーツ大会に出場した高校生プレイヤーにアンケート調査を行い、プレイの状況、身体的愁訴の有無、ケアの状況を調査した。

第2節 方法

2020年高校生eスポーツ大会「STAGE:0」(ステージゼロ)¹⁰ (League of Legends(5人1組)エントリー総数:114チーム 622名、Fortnite(2人1組)エントリー総数:1,419チーム 2,838名)で、League of Legendsの決勝大会に進出した8校の高校に連絡し研究協力を依頼した。加えて、Social Networking Service(SNS)を通じ機縁法にて研究協力を依頼した。顧問教諭が研究協力に同意した場合、教諭から生徒にアンケートの募集の通知を行い、生徒は自らの自由意志で調査に参加した。調査は2020年11月から12月に実施した。

アンケートは、匿名のウェブ入力によって収集した。調査の最初のページで調査の目的を説明し、回答の送信をもって研究に同意とした。アンケート項目は先行研究^{22,23}を参照し作成した。調査項目は、年齢、性別、睡眠時間、主要なゲームプレイ、毎週のプレイ日、毎日のプレイ時間、身体的な愁訴や部位、医療機関等受診の経験、セルフケアの有無とセルフケア方法とした。

結果は、平均±標準偏差で示した。愁訴の有無と睡眠時間またはプレイ時間との関係についてロジスティック回帰分析を行った。決勝に進出した上位校2校と一般校3校のプレイヤーの傾向を比較するために、Wilcoxonの順位和検定を用いて、2つのグループの年齢、睡眠時間、プレイ時間を比較し、カイ二乗検定を用いて、愁訴とケア状況を検討した。統計分析はSPSS統計バージョン27(IBM、米国)を使用し、有意水準は5%未満とした。

本研究は、筑波大学人間倫理委員会(東2020-71, 東2020-83)によって承認された。

第3節 結果

機縁法を用いて、13校に対し研究への参加を要請した。5校が参加に同意し43名の高校生(16.2±1.0歳、男性:女性40:3)から回答を得た。生徒が主にプレイしているゲームは、League of Legends (25名)、Fortnite (7名)、Rocket League(4名)、その他(7名)であった。

プレイ時間を表3に示す。1日あたりのプレイ時間は4.5±2.3時間/日、1週間のプレイ日数が5.8±1.7日/週、1週間あたりのプレイ時間が27.8±16.9時間/週であった。1日あたりのプレイ時間は、1時間(3名)、2時間(5名)、3時間(7名)、4時間(8名)、5時間(7名)、6時間(8名)、7時間(1名)、8時間(1名)、10時間(3名)だった。4~6時間のピークと10時間のピークがあり二極化していた。

1週間のプレイ日数は、1日(2名)、2日(2名)、4日(2名)、5日(9名)、6日(6名)、7日(22名)であった。プレイヤーの半数は週7日、休日なしでプレイしていた。1週間のプレイ時間は、10時間未満(8名)、10-20時間(5名)、20-30時間(15名)、30-40時間(5名)、週40-50時間未満(6名)、50-60時間(1名)、70時間(3名)であった。

睡眠時間の回答結果を表4に示す。就寝時間は、午前0:00まで(10名)、午前0:00(14名)、午前1:00(9名)、午前2:00(8名)、午前3:00(1名)、不定(1名)であった。睡眠時間は、5時間(7名)、6時間(13名)、7時間(10名)、8時間(8名)、9時間(2名)、10時間(1名)、11時間(1名)、不定期(1名)であった。

表 3 高校生 e スポーツプレイヤーのプレイ時間

| | | 週のプレイ日数 | | | | | | | | (n=43) |
|---------|-----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| 週のプレイ日数 | | 1時間 /日 | 2時間 /日 | 3時間 /日 | 4時間/ 日 | 5時間 /日 | 6時間 /日 | 7時間 /日 | 9時間 /日 | 10時間 /日 |
| | 週1日 | 2 | | | | | | | | |
| | 週2日 | | 1 | | 1 | | | | | |
| | 週4日 | | | | | | 2 | | | |
| | 週5日 | 1 | 3 | 1 | 3 | | | 1 | | |
| | 週6日 | | | | 2 | 3 | | | 1 | |
| | 週7日 | | 1 | 6 | 2 | 4 | 6 | | | 3 |

表中の数字は人数を示す。

表 4 高校生 e スポーツプレイヤーの睡眠時間

| | | 睡眠時間 | | | | | | (n=43) |
|------|-------|------|-----|-----|-----|-----|------|--------|
| 就寝時間 | | 5時間 | 6時間 | 7時間 | 8時間 | 9時間 | 10時間 | 11時間 |
| | 21:00 | | | | | 1 | | 1 |
| | 22:00 | | | | 1 | | | |
| | 23:00 | | | 2 | 3 | 1 | 1 | |
| | 0:00 | 1 | 5 | 7 | 1 | | | |
| | 1:00 | 2 | 6 | | 1 | | | |
| | 2:00 | 3 | 2 | 1 | 2 | | | |
| | 3:00 | 1 | | | | | | |

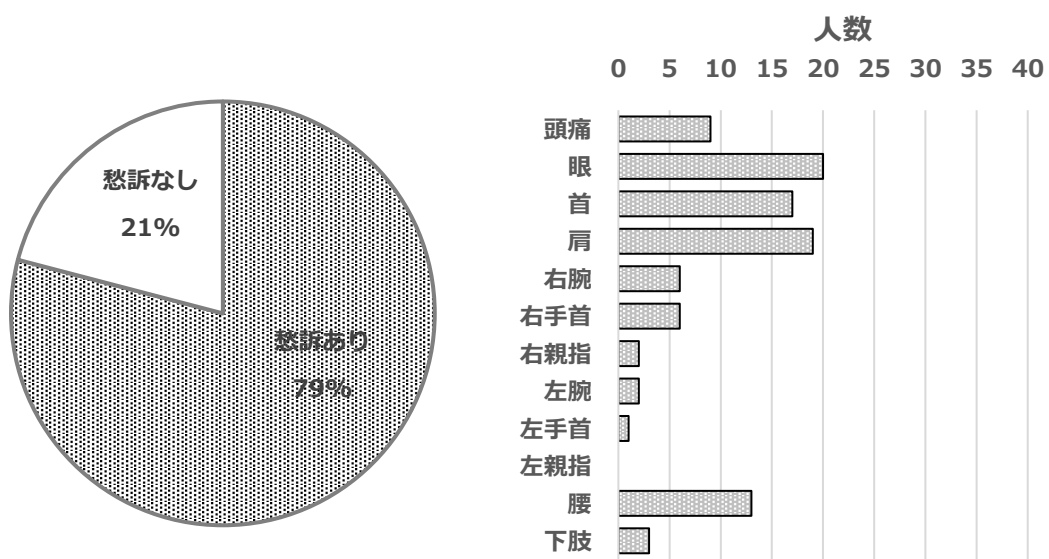
表中の数字は人数を示す。

愁訴の有無と部位の回答結果を図4に示す。愁訴数は、なし(9人)、1か所(9人)、2か所(14人)、3か所(9人)、4か所(2人)であり、34人(79.0%)が少なくとも1つの愁訴を有していた。愁訴部位(複数回答)は、頭部(頭痛)(9名)、目(20名)、首(17名)、肩(19名)、右腕(6名)、左腕(2名)、右手首(6名)、左手首(1名)、右親指(2名)、腰(13名)、脚(3名)であった。部分別にまとめると、頭部、目(21名)、首肩(23名)、上肢(12名)、腰(13名)、下肢(3名)であった。

各愁訴(1つ以上の愁訴、頭痛・目の疲れ、首肩の愁訴、腰の愁訴、上肢の愁訴、下肢の愁訴)の発生と睡眠時間、プレイ時間の関係を分析したところ、首と肩の愁訴と睡眠時間のみが関係した(OR=2.3、CI:1.0-5.3、 $p=0.047$)。

上位校のプレイヤー($n=21$)と一般校のプレイヤー($n=20$)の比較結果を、上位校/一般校で示すと、睡眠時間 6.4 ± 1.5 時間/ 7.2 ± 1.1 時間 ($p < 0.05$)で上位校は短く、1日のプレイ時間 5.2 ± 2.3 時間/ 3.9 ± 2.1 時間(有意差なし)、1週間のプレイ日数 6.4 ± 0.9 日 / 5.2 ± 2.0 日 ($p < 0.05$)で上位校が多く、1週間のプレイ時間 34.1 ± 17.2 時間 / 21.9 ± 14.2 時間 ($p < 0.05$)で上位校が多かった。愁訴については、「あり」と回答した人数を上位校/一般校で示すと、1つ以上の愁訴がある19/15、頭部 6/3、目 10/10、首 6/10、肩 11/8、右腕 4/2、左腕 1/1、右手首 4/2、左手首 0/1、右手親指 1/1、腰 7/6、足 2/1という結果でカイ二乗検定で有意差がある項目はなかった。

(n=43)



(a) 愁訴の有無

(b) 愁訴部位(複数回答可)

図 4 高校生 e スポーツプレイヤーの愁訴の有無と愁訴部位

接骨院やマッサージ院へ通っているプレイヤーは3人で、医療機関を受診しているプレイヤーはいなかった。セルフケアの実施状況の回答結果を図5に示す。33人の被験者が愁訴に対してセルフケアを行っていた。セルフケアの内容は、複数回答で、ストレッチング(22名)、自分で揉む(14名)、筋トレ(12名)、温める(9名)、冷やす(2名)、マッサージ器の使用(2名)と、セルフケアとしてストレッチングを行っている者が多かった。

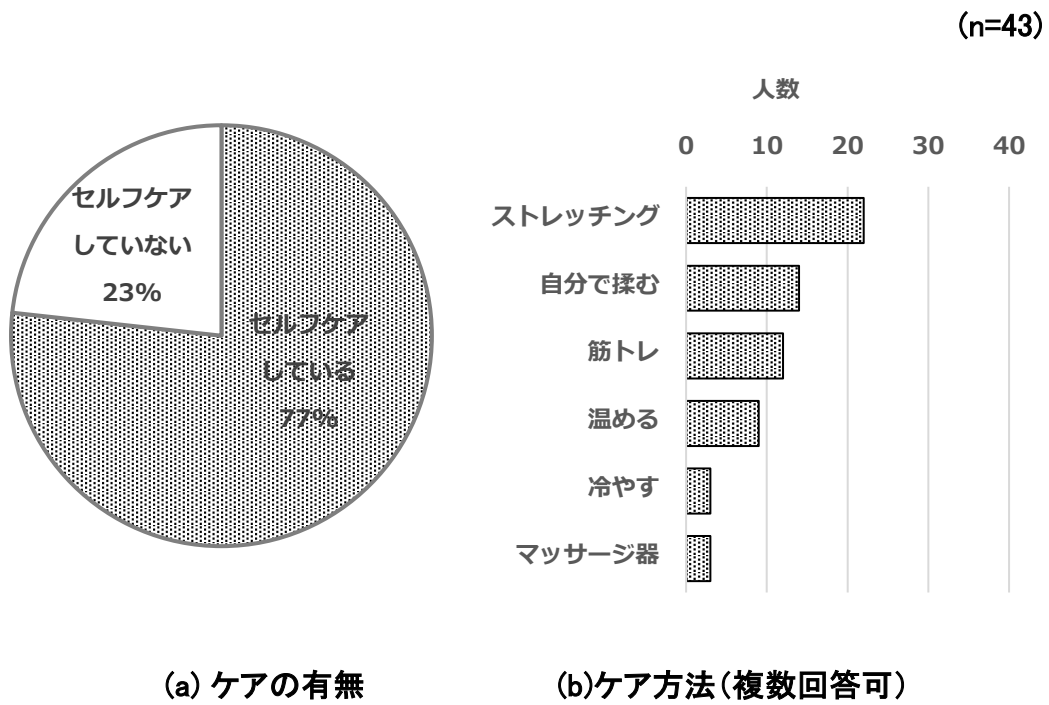


図 5 高校生 e スポーツプレイヤーのセルフケアの状況

第4節 考察

高校生eスポーツ大会に出場経験のある高校のプレイヤーを対象として、実態を調査したところ、eスポーツをしている状況に関しては、本調査では、週のプレイ時間は週21～30時間(15人)が最も多く、30～40時間(5人)、40～50時間(6人)。3人のプレイヤーが週に70時間プレイしていた。米国とカナダの大学生eスポーツプレイヤーはeスポーツに1日5～10時間費やしているという報告があるが、高校生プレイヤーも1日に長時間行っていることがわかった。一般の中高生の調査⁷¹によると運動部に所属する生徒はスポーツ活動に週平均16.9時間を費やしており、上位5%は週27時間以上を費やしているという報告がある。本調査の結果、eスポーツプレイヤーの週あたりのプレイ時間は、一般中高生の運動部と比較しても多くの時間を費やしていることがわかった。

スポーツ庁は2018年に運動活動のガイドライン⁷⁴を制定し、成長期の中高生が週に1～2日休息し、フィジカルスポーツに費やす時間は週16時間未満とすることを推奨されている。厚生労働省は、パソコンなどの情報機器で作業する労働者の負担を軽減するため、適切な環境の整備や作業管理についてまとめた「情報機器作業における労働衛生管理のためのガイドライン」⁷⁵において、作業環境管理、作業管理、健康管理等の指針を定めている。指針によると、ディスプレイ画面の注視、キー操作又は一定の姿勢を長時間持続することによって生じる眼、頸、肩、腰背部、上肢等への負担による疲労を防止するため、一連続作業時間の目安を1時間としている。学校の部活動などであれば場所や時間的な制限があるが、eスポーツでは、場所や時間に関係なくいつでも自宅で参加

できることから、プレイ時間の長時間化や睡眠時間の短縮に繋がる可能性がある。プレイ時間や睡眠時間の身体への影響には今後も注視し、eスポーツにおいても適切な指針を設定する必要があると考えられる。

睡眠に関して、本研究では深夜0時以降に就寝しているプレイヤーは74.4%であった。文部科学省の調査では、高校生の47.0%が深夜0時以降に就寝している⁷²。eスポーツをしている時間帯は調査していないが、夜遅くに就寝している傾向があった。睡眠不足は、アスリートのパフォーマンスと回復の低下につながる可能性がある⁷³という報告もあるため、今後、睡眠との関連も調査していく必要があると考えられる。今回の対象は高校生であり、eスポーツの活動にある程度の制限があり、睡眠時間に関しても就寝が遅いながらも、ある程度の規則的な生活をしていると考えられる。学生でないプレイヤーであれば、プレイ時間が長く睡眠時間が短く不規則である可能性がある。

米国とカナダの大学生eスポーツプレイヤーでは、目の疲れ(55%)、首と背中の痛み(42%)、手首の痛み(36%)、手の痛み(32%)が報告されている²²。本研究では頭痛/眼精疲労(48.8%)、首/肩(53.5%)、上肢(27.9%)、腰(30.2%)、下肢(7.0%)であり、高校生でもこれまでの研究のeスポーツプレイヤーのように身体的な愁訴を経験していることがわかった。

Kamataら(2016)⁷¹の島根県の中学校・高校の生徒2403人(45.3%が組織スポーツに参加)を対象とした筋骨格痛に関する調査によると、学生は首(2.4%)、腰(8.5%)、上肢(9.5%)、下肢(15.4%)に関連する愁訴を有し、従来スポーツに参加する学生の多くは下肢の愁訴を有していた。これらの生徒と比較して、eス

スポーツプレイヤーは上半身の愁訴が多く、下肢の愁訴は少なかった。このことはeスポーツにおける長時間の座位姿勢と手の過剰使用を反映していると考えられる。

本研究において、多くの時間をプレイに費やした学生が、より多くの愁訴を有すると予想したが、結果はこれら2つの要因に相関関係はなかった。Lindberg et al. (2020)²³は、愁訴があるeスポーツプレイヤーはプレイ時間が短くなると報告している。本研究では、プレイ時間が長いと愁訴が発生しているのか、それとも愁訴があるために長くプレイができなくなっているのか、因果関係が不明である。上位校と一般校では睡眠とプレイ時間に差はあったが愁訴に違いはなかった。eスポーツは歴史が浅いことから、競技スポーツとして発展するにつれて変化する可能性がある。愁訴に関する因果関係や長期的な影響は不明なため、今後、継続的な調査が必要である。

高校生eスポーツプレイヤーは、医療機関を受診しておらず、大学生プレイヤーの調査²²と同様の結果であった。ただし77%は何らかのセルフケアを行っていた。これは、医学的な治療を受けるような愁訴はないが、セルフケアが必要な愁訴を有することを示唆している。従来スポーツでは、使いすぎ症候群であれば、症状があるとしても徐々に症状が進むため、症状の悪化に気付かず、競技を続け故障で続けられなくなることがある。eスポーツでは、医療機関を受診しておらず、適切なケアの方法など確立していない。eスポーツプレイヤーの中には選手寿命が短く若くして引退するプレイヤーも存在する。eスポーツにより身体に過度の負担がかかっているとすれば、怪我を予防しプレイヤーの

キャリアを長くするための対策を講じる必要がある。eスポーツにも使いすぎがあるとすれば、従来スポーツと同様に、スポーツ医学的な根本的なアプローチが必要である。

第5節 結論

高校生eスポーツプレイヤーは、約8割に目の疲れ、首、肩、腰、手の愁訴があった。医療機関にかかっていないが、8割が上肢を中心とした身体的愁訴を有していた。また、約7割がセルフケアを行っており、約半数がストレッチングを行っていた。医療機関にかかるほどの重篤な愁訴を有する者はいなかったが、プレイ時間が長く、eスポーツ障害の発生が危惧されることから、有効なセルフケアについて検討する必要がある。

第5章 eスポーツを想定した打鍵操作負荷評価プロトコルの開発

第1節 序論

eスポーツにおいて多くのeスポーツプレイヤーは、利き手に関係なく右手でマウス操作、左手でキーボード打鍵を行っている。左手は日常生活において使用頻度が少ないと考えられることから、第4章の調査研究で、高校生eスポーツプレイヤーが左腕の愁訴を有するという結果は、キーボードの打鍵が影響している可能性があると考えられる。eスポーツの操作にはマウス操作、キーボード操作のさまざまな要素があるが、本研究ではキーボードのキーを押下する動作に着目することとした。

打鍵という動作は、浅・深指屈筋の収縮によりキーを押し、総指伸筋の収縮により指を引き上げキーから指を離す。深指屈筋は、前腕の深層筋の一つであり、主に手で把持する際の指先の力を入れる作用を有する筋で、浅指屈筋は深指屈筋とともに親指を除く手指の屈曲に大きく関与し、前腕の中で最も力強く大きな筋である。総指伸筋は第2指から第5指を伸展させる筋である。連続打鍵はこれらの筋の収縮の素早い切り替えにより行われており、高速で連続した打鍵は筋を多用していると考えられる。eスポーツで行われるように競争的に打鍵を行うことを想定した研究はほとんど無く、実態は明らかになっていない。第4章で示したように、打鍵の数の報告はあるが、指への負担を検討するにはより詳細な分析が必要であると考えられる。

体育領域では、表面筋電図や動画録画が、腕や脚などの大きな筋の動きを分析するために使用されている。表面筋電図は一般的に筋疲労の評価に使用され

リアルタイムで非侵襲的に筋活動を定量的に測定できる⁷⁶⁻⁷⁸が、表面筋電図だけでは、実行されている実際の動きを判断することはできない。動画分析は関節動作等を視覚的にとらえることができ、技術面の向上や戦術の構築において大きな効果を発揮する^{79,80}が、筋活動の負荷を示すことはできない。パソコンの打鍵操作は1秒間に5～10回という速さであり、肘関節や膝関節の屈伸のように目視で確認することが難しい。打鍵数と表面筋電図と動画を組み合わせることで目視では確認が難しい速度での打鍵を多角的に評価できる可能性がある。そこで、本研究は、入力記録、表面筋電図、撮影動画のデータを組み合わせることで、パソコンキーボードの高速連打鍵の評価方法を開発し、高速連続打鍵の特性を捉えることとした。

対象者に関しては、プレイヤーの場合は、日常的な指の使用により、慣れもしくは疲労の影響があると考えられたため、非プレイヤーを対象とした。筆者が所属する施設の非プレイヤーである一般男性のうち、若いプレイヤーと年齢層が近いと思われる20代を対象とした。

第2節 方法

① 被験者

被験者は一般健康男性成人15人とした。平均年齢、身長、体重はそれぞれ 30.1 ± 8.1 歳 (21-51歳)、 171.5 ± 6.1 cm、および 67.4 ± 10.4 kg であり、日常的にコンピュータゲームをプレイしている者はいなかった。

これまで高速打鍵に関する基本的なデータがないため、打鍵の傾向がプレイヤー固有のものか一般的な傾向かを判断することが難しい。そのため非プレイヤーを対象とした。

② 対象とする指

キーボード操作はほとんどのプレイヤーが利き手に限らず左手で行うため、左手指を対象とした。実際のプレイでは、左の五指すべてを駆使しゲームごとにさまざまな操作内容があるが、本研究では手にかかる負担を検討するため、負荷モデルとしては1指で同じキーを打ち続ける単純な操作とした。タッピング速度に関する先行研究において、薬指や小指は示指や中指と比較してタッピング速度が低いこと、疲れを感じやすいことが報告されている^{38,41}。薬指と小指を比較すると、解剖学的には小指の伸展は総指伸筋と小指伸筋に制御されているのに対し、薬指の伸展は総指伸筋のみに制御されており、支配筋が1種類であるほうが疲労しやすいと考え、使用する指は薬指とした。

③ 連続打鍵時間

右示指の結果であるが連続打鍵を行うと10秒以上で減速するという先行研究⁴³⁻⁴⁶から、1トライアルの所要時間を30秒間に設定した。

④ 打鍵方法

記録用ノートパソコンに片手キーボード(G30 Buruberi、中国)をUSBで接続し、被験者のデスクの前に被験者用モニターと片手キーボードを設置した。椅子の高さは、上肢を下垂し肘関節が約90度屈曲でアームレストに置けるよう調整した。キーボードには直径5cmの半球をパームレストとして設置し、手掌をパームレストに置き、打鍵キーは自然に円弧を描く角度で打鍵できるキー(WまたはS)とした(図6)。打鍵方法は、手関節の固定によって使用する筋を限定することで打ち方をより統一できると考えられるが、現実の打ち方と乖離すると考え、手関節は固定しないが、肘、手首、手掌を浮かせず打つよう指示をした。開始ベルから終了ベルまで、左薬指で同じキーを最大速度で打鍵し続けるタスクとした。開始ベルから終了ベルまでは30秒としたが、時間を伝えることでペース配分をする可能性があるため、所要時間は伝えず被験者用モニターにも時刻表示をしなかった。打鍵の間、被験者用モニターには現在の累計打鍵数を表示したが(図7)、激励等の介入は行わなかった。

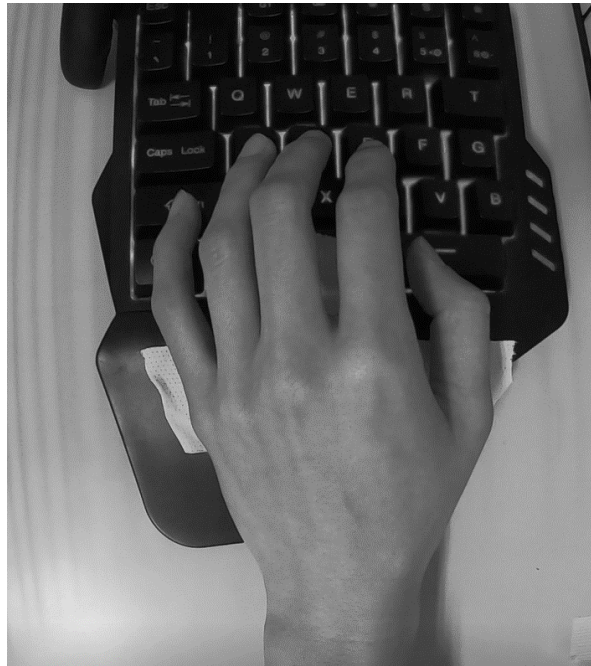
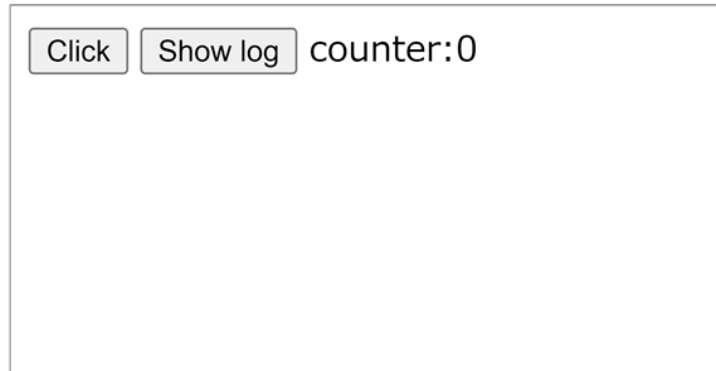
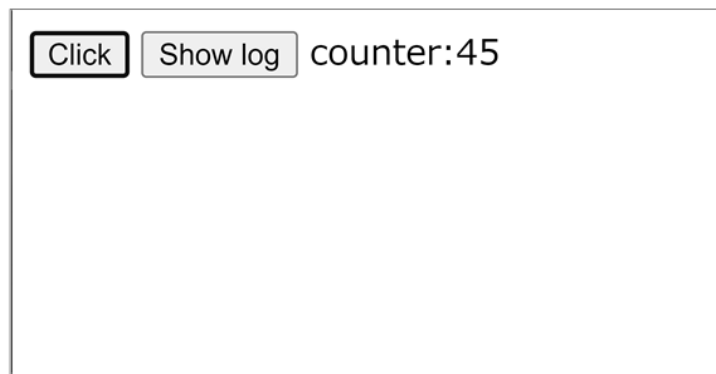


図 6 連続高速打鍵を行ったキーボードと手の位置

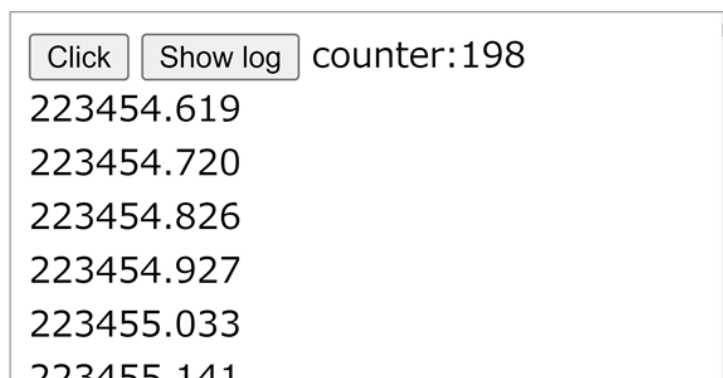


(a) スタート画面



(b) 打鍵中の画面

※入力に応じてカウンターの数値が加算される



(c) 入力時刻記録表示の画面（研究者用）

図 7 打鍵実験の際のモニター画面例

⑤ 主観的疲労感

主観的な疲労感として、トライアルの前後で前腕の倦怠感の視覚的評価スケール(Visual Analog Scale : VAS)を記録した。スケールは100mmの直線とし、被験者自ら、疲労のレベルを「疲労なし」から「想像できる最大の疲労」までの間で、その時点での自覚的疲労感を記入した。

⑥ 筋硬度

身体組織硬度計(PEK-1; 井元製作所、日本)を用いて筋の硬さを測定した。身体組織硬度計は、プローブによって皮膚を押圧することで組織変位の量を定量化する。機械本体内のスプリング定数の異なるメインポインタとサブシリンドラからなるプローブを、下層の組織に押し付け、メインポインタとサブシリンドラ間の距離を硬度指標として使用し、0~99の範囲の値で表示される⁸¹。値が大きいくほど測定対象は硬度が高いとし、値40は13.1g/mm²の生物学的抗力、表示された値50は15.1g/mm²の生物学的抗力と算出される⁸²。筋硬度の測定部位は、前腕伸筋では肘関節横紋から遠位50mmの総指伸筋の筋腹、前腕屈筋では肘関節横紋から遠位50mmの浅指屈筋の筋腹とし、実験前に該当部分にマーカをつけて。測定は、座位で腕を自然に下垂し手掌は背側に向けた姿勢で1測定につき3回測定を繰り返した。

⑦ 入力記録

入力時間は、JavaScript (ES2020 (ECMAScript2020))で記述したコンピュータプログラム(図8)をブラウザ(Google Chrome ver90.0.4430.212)で実行し記録した。

```

<!DOCTYPE html>
<html lang="ja">
<head>
<meta charset="UTF-8">
<meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=utf-8">
<meta http-equiv="Content-Style-Type" content="text/css">
<meta http-equiv="Content-Script-Type" content="text/javascript">

<title>CLICK TEST</title>

</head>
<body>
<div id="bigbox"><a id="top"></a>

<div >
<button>Click</button>
<button id="showlogbutton">Show log</button>
<label>counter:</label><label id="counterlabel">0</label>
<div id="clicktime"></div>
<div id="log"></div>

<script type="text/javascript">
const button = document.querySelector('button');
const showlogbutton = document.getElementById("showlogbutton");
const html = document.querySelector('html');
const timediv = document.getElementById('clicktime');
const logdiv = document.getElementById('log');
const counterlabel = document.getElementById('counterlabel');
var timeArray = [];
var counter = 0;

button.addEventListener("keydown", (s)=> {
counter++;
counterlabel.innerHTML = counter;
const date = new Date();
const currentTimeString = ('0' + date.getHours()).slice(-2) + ('0' +
date.getMinutes()).slice(-2) + ('0' + date.getSeconds()).slice(-2) + '.' + ('00' +
date.getMilliseconds()).slice(-3);
//timediv.innerHTML = currentTimeString;
timeArray.push(currentTimeString);
});

showlogbutton.addEventListener('click', event => {
timediv.innerHTML = "";
logdiv.innerHTML = "";
var displayString="";
for(let element of timeArray){
console.log(element);
logdiv.innerHTML += element + "<br>";
}
});
</script>

</div>
</body>
</html>

```

図 8 打鍵入力記録プログラム

⑧ 表面筋電図

表面筋電図の測定は、筋活動の存在と発火パターンを調べることを目的とした。TELEMYO DTS EM-801 (NORAXSON) を使用し、前腕の伸筋と屈筋から表面筋電図データを抽出した。Ag-AgCl 電極 (Kendall Disposable Surface 表面筋電図/ECG/EKG Electrodes 1 3/8" (35mm)) を、電極装着前にアルコールを含ませた脱脂綿で電極装着部の皮膚を擦拭し、前腕伸筋では総指伸筋の肘から30mmの筋腹、前腕屈筋では浅指屈筋の肘から30mmの筋腹に取り付けた。2つの中心間の距離電極は20mmとした。電極の位置は、前述の筋硬度の測定部位に近い位置である。サンプリング周波数は1000Hzとし、解析ソフトウェア myoRESEARCH を使用し100msごとに二乗平均平方根 (RMS) 値として示した。

⑨ 動画撮影

カメラ (GoPro HERO7、GoPro, Inc. カリフォルニア州、米国) を使用し、小指側の側面と上から30フレーム/秒の動画フレームレートで撮影した。動画編集ソフト PowerDirector (CyberLink Corp. Taiwan) を用いてコマ送りを行い、目視で動作を確認し、キーを押し込んだ際の時刻の記録を行った。

⑩ 分析

入力時刻は、Microsoft Excel 2019に取り込み集計を行った。統計分析は、SPSS27 (IBM、米国) を使用し、有意水準を5%に設定し前後比較について Wilcoxonの順位検定を行った。

第3節 結果

① 主観的疲労感

前腕の主観的疲労感のVASは、前腕伸筋はトライアル前 8.2 ± 16.1 、トライアル後 21.6 ± 21.5 ($p=0.005$)、前腕屈筋はトライアル前 2.4 ± 3.0 トライアル後 15.7 ± 23.8 ($p=0.009$)であり負荷前と比較して負荷後で有意に上昇した(図9)。

② 筋硬度

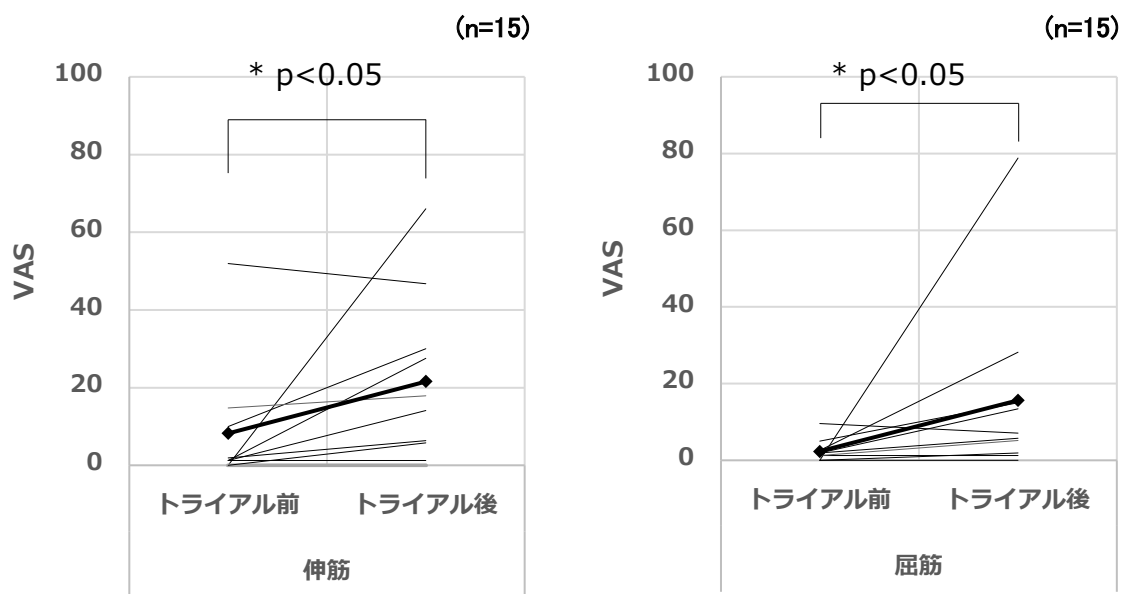
前腕の筋硬度は、前腕伸筋がトライアル前 50.9 ± 2.6 、トライアル後 52.0 ± 2.3 ($p>0.05$)、前腕屈筋がトライアル前 45.4 ± 3.3 、トライアル後 46.3 ± 3.8 ($p>0.05$)であり、負荷前と負荷後で有意差はなかった(図10)。

③ 入力記録による分析

トライアル序盤(0~5秒)の平均入力速度は、 6.2 ± 1.2 Hzだった。その後、5秒ごとの平均入力速度は、 5.9 ± 1.0 、 5.7 ± 1.0 、 5.5 ± 0.6 、 5.3 ± 0.8 、 5.0 ± 0.7 Hzと徐々に減速した。トライアル終盤の入力速度は、序盤と比較して約1Hzの減速、序盤の約81%の速度に減少した。序盤の入力速度が高い被験者は終盤にかけての入力速度の減少量が大きく、序盤の入力速度が低い被験者は速度の減少量が少ない傾向があった(図11)。

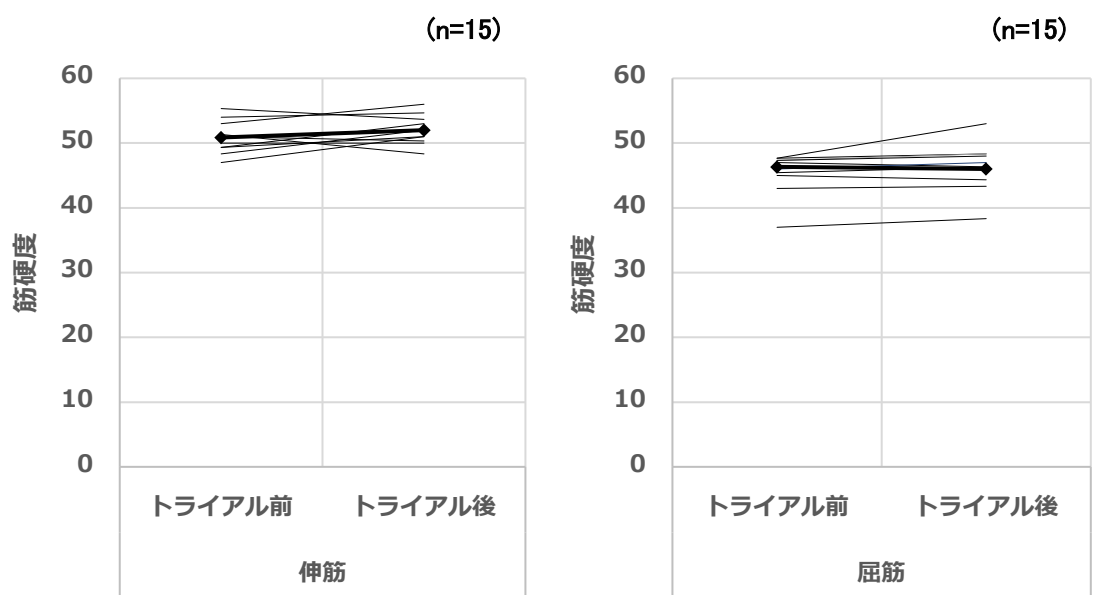
④ 表面筋電図による分析

得られた原波形を区間100msで二乗平均平方根処理した波形の例を図12に示す。前腕伸筋と前腕屈筋の筋活動が交互にほぼ等間隔で出現することが確認できた。筋活動の出現頻度は、序盤と比較すると終盤は減少する、つまり減速することが確認できた。



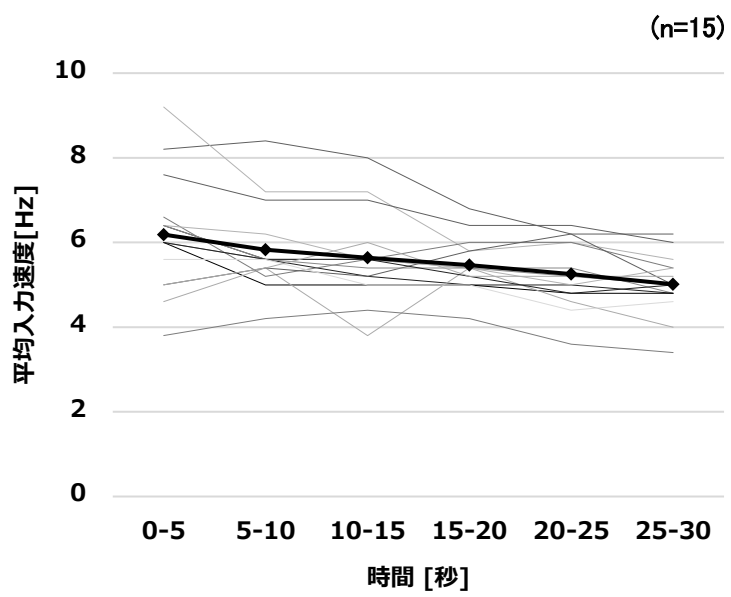
細線:個々のデータ 太線:平均値

図 9 主観的疲労感の変化



細線:個々のデータ 太線:平均値

図 10 筋硬度の変化



細線: 個々のデータ 太線: 平均値

図 11 平均入力速度の経時変化

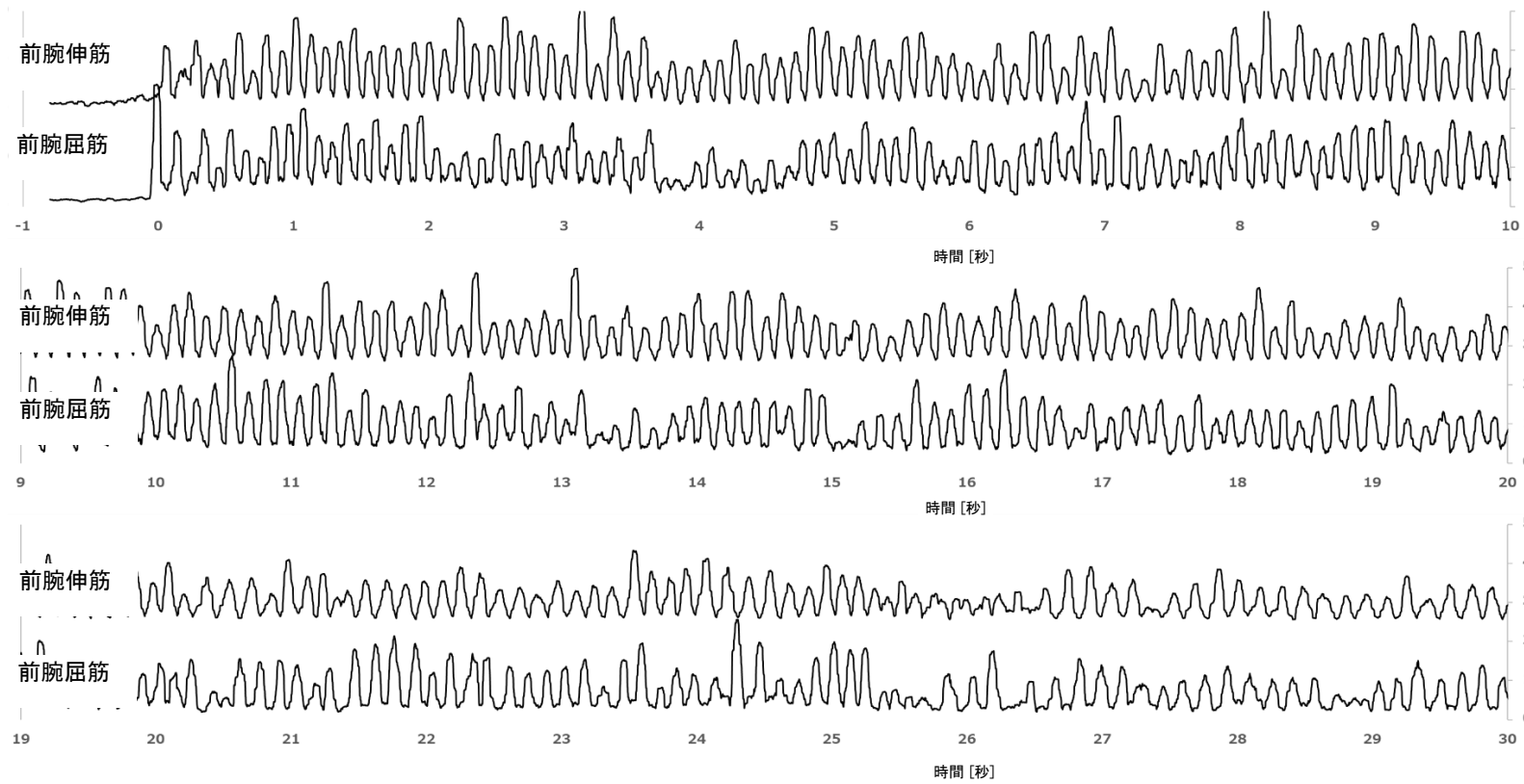


図 12 表面筋電図の例 (区間 100ms の RMS 値)

⑤ 動画撮影による分析

撮影動画の例を図13に示す。コマ送りで確認することにより、押下動作とボタンが押し込まれる様子が確認できた。ボタンが最下まで押し込まれたところで入力されていることが推定できた。

被験者Aは、すべての指が弧を描きしなやかに叩くように打鍵し、打鍵を継続していくと薬指以外の指が挙上した。被験者Bは、左指で細かく突くように打鍵し、15秒ほどで手の緊張が解けるように手のフォームが変化した。主に手を撮影していたが体幹が動く様子も確認された。被験者Cは、小指を硬く屈曲し薬指で押し込むように打鍵し終盤まで大きな変化はなかった。動画により、各被験者で打鍵の手のフォームや経時変化が異なる様子が確認できた。



被験者A

被験者B

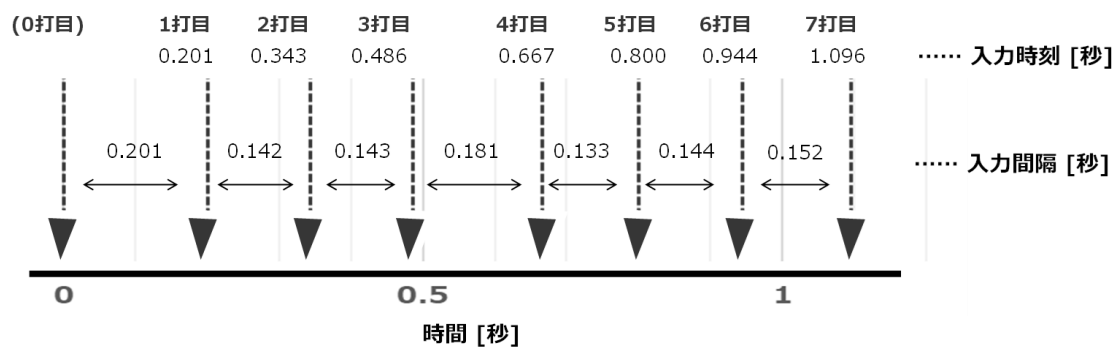
被験者C

図 13 撮影動画の例

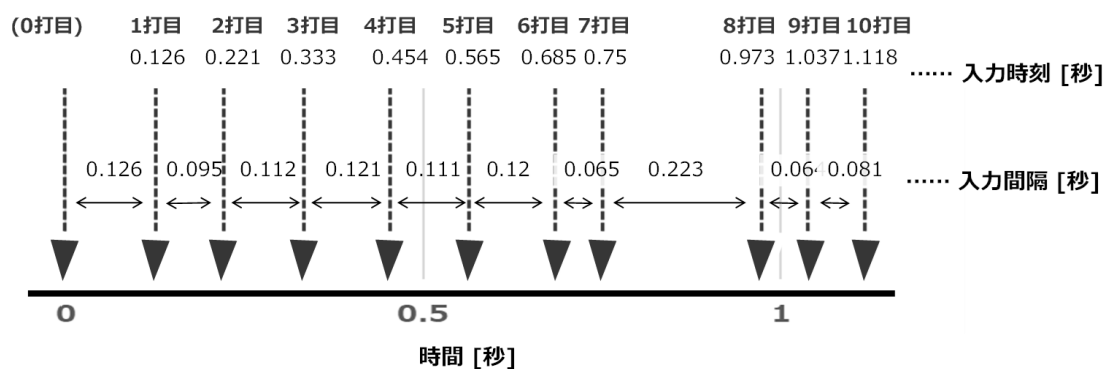
⑥ 入力記録の詳細な分析

入力記録では、速度が速いほど入力と入力の間隔は狭く時間の経過とともに徐々に入力間隔は増加した。しかし、各被験者の入力間隔は多くが等間隔であるが不自然に間隔が広い場合があった(図14)。そこで、入力時刻と入力間隔について詳細な分析を試みた。

図 15 は、被験者 A と被験者 B について入力速度つまり 1 秒あたりの入力数と、入力間隔の経時変化を示した例である。(a-1)と(b-1)では、図 15 と同様に入力速度の経時変化を示している。被験者 A は、序盤は 6.4Hz の速度で終盤は 4.8Hz に低下している。被験者 B では、序盤は 9.2Hz の速度で終盤では 5.6Hz に徐々に低下している。同じ入力時刻のデータから、(a-2)、(b-2)ではすべての入力について入力時刻と入力間隔を示した。入力間隔は小さいほど速度が高い、すなわち入力速度が高い、入力スピードが速いことを示す。被験者 A の(a-2)では、約 0.16 秒から徐々に増加し終盤は約 0.20 秒であった。被験者 B の(b-2)は、約 0.10 秒から徐々に打鍵間隔が増加し終盤では約 0.18 秒であった。被験者 A と被験者 B を比較すると、被験者 A では外れ値がないが、被験者 B では外れ値が散見された。これは、被験者 B には、速く打鍵しているが有効な入力となっていない“ミスタッチ”である可能性が考えられた。

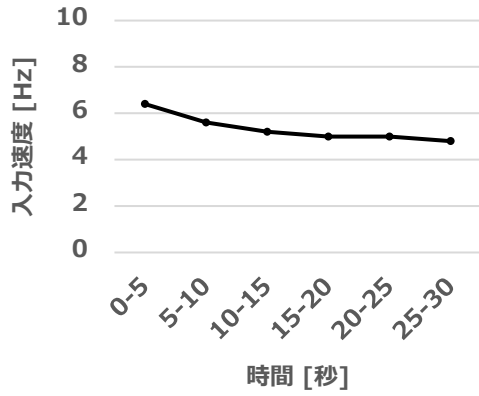


(a) 被験者Aの入力例

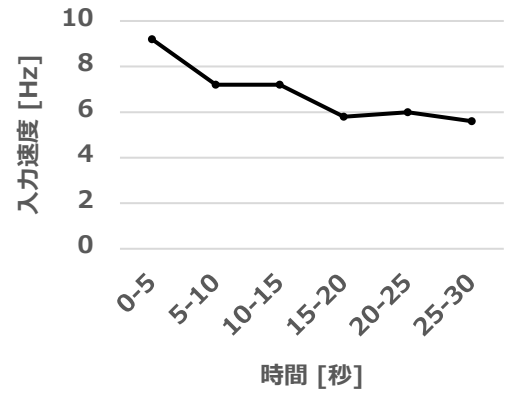


(b) 被験者Bの入力例

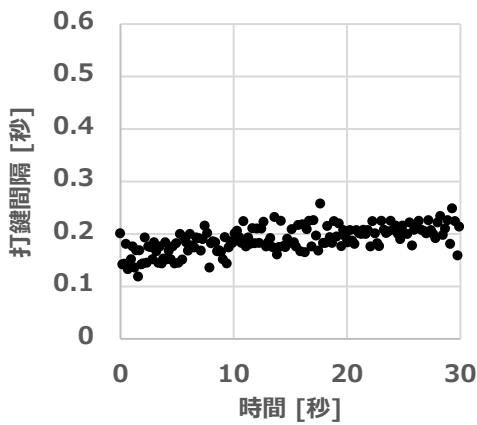
図 14 入力数、入力時刻と入力間隔の例



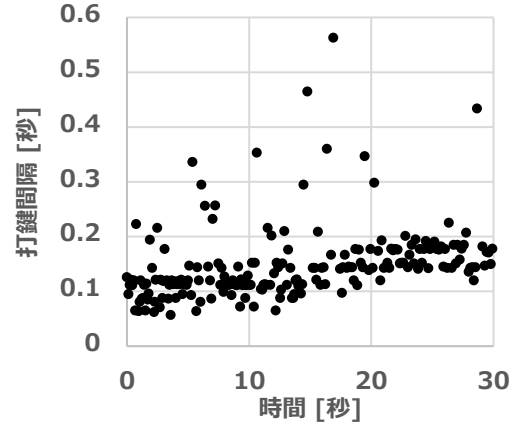
(a-1) 被験者Aの入力速度の経時変化



(b-1) 被験者Bの入力速度の経時変化



(a-2) 被験者Aの入力間隔の経時変化



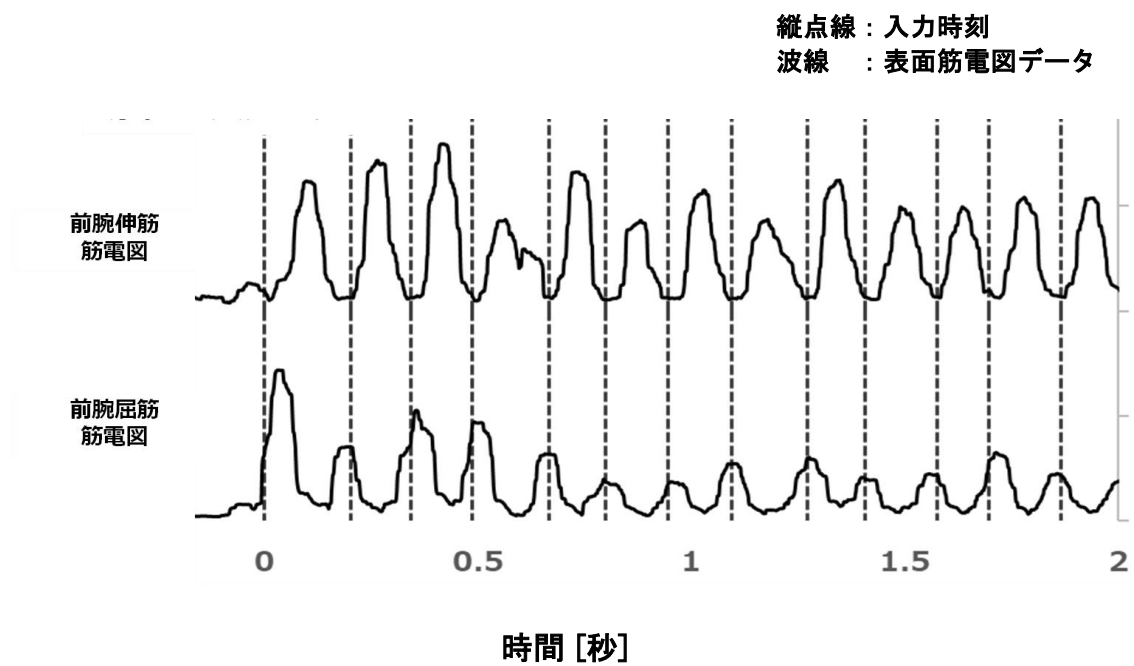
(b-2) 被験者Bの入力間隔の経時変化

図 15 入力数(入力速度)と入力間隔の経時変化の例

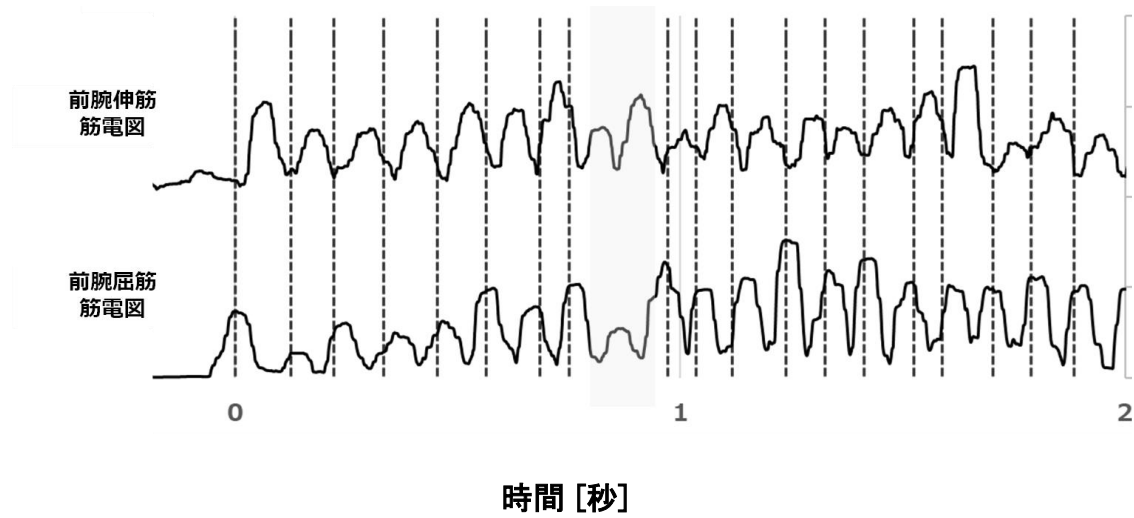
⑦ 入力記録、表面筋電図、撮影動画のデータの照合

ミスタッチの可能性の検証として、入力記録、表面筋電図、撮影動画を比較した。入力記録と表面筋電図の照合の例を図16に示す。入力記録は図中の縦の点線で示し、表面筋電図の筋活動は上の行に前腕伸筋、下の行に前腕屈筋を波線で示された。入力記録の最初の入力時間、屈筋の最初のバーストの頂点を0秒として照合した(図16)。入力、表面筋電図のデータを照合すると、入力記録のタイミングと筋活動の発生のタイミングは概ね一貫していた。(a-3)のように被験者Aではほとんど矛盾がなかった。しかし、(b-3)のように被験者Bでは入力がない筋活動が発生しているところがあった。打鍵間隔が不自然に広く、ミスタッチの可能性があると考えられた点は、筋電図のデータと照合することで、筋活動がありミスタッチであることが判明した。

加えて、入力記録および表面筋活動のデータに撮影動画のデータを照合したところ(図17)、ミスタッチがある点は動画でも打鍵動作を行っていることが確認できたが、動画では、ミスタッチの原因がキーを叩いているが浅いと思われるもの、押し込んだ後の挙上が不十分のため次の入力が無効になったと思われるもの等が撮影動画により確認できた。

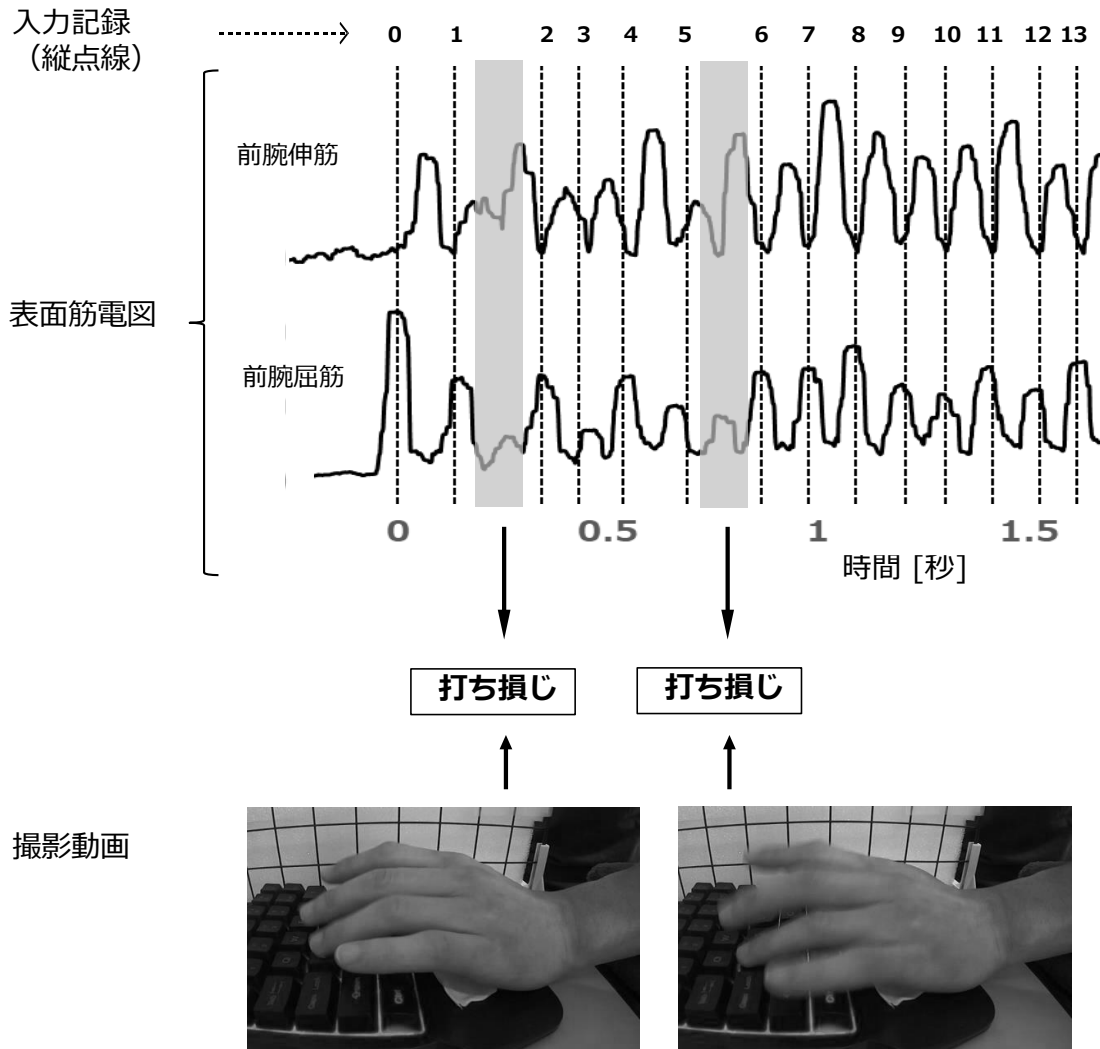


(a-3) 被験者Aの入力時刻と表面筋電図データの照合の例



(b-3) 被験者Bの入力時刻と表面筋電図データの照合の例

図 16 入力時刻と筋活動の照合の例



打ち損じの状況を確認できる

図 17 入力記録、表面筋電図、撮影動画の照合の例

以上を踏まえ、入力記録と表面筋電図データを照合することにより、各被験者の打鍵速度と30秒間の合計ミスタッチ数を集計したところ、打鍵速度7Hzの被験者2人はミスタッチが18回、32回、打鍵速度5～6Hzの被験者7人はミスタッチが0～3回、序盤4.7～5.1Hzの被験者3人はミスタッチが12回、17回、21回であった。

第4節 考察

指の動きに関する研究は、運動機能や脳疾患を評価するために、さまざまな分野で行われているが、eスポーツのように競争的に速く打鍵し、その疲労を評価した研究は見当たらないため、負荷の条件と評価方法を検討した。

本研究では左薬指の入力速度は、序盤は 6.2 ± 1.2 Hzで徐々に減速し 5.0 ± 0.7 Hzとなった。これまでの打鍵の先行研究と矛盾しない範囲であったと考えられる。トライアル序盤の打鍵速度は個人によって $3.8 \sim 9.0$ Hzと異なるため、打鍵速度の高いグループは、打鍵を続けると大きく減速を示したが、打鍵速度の低いグループはごくわずかな減速を示した。Bächingerらの研究⁴⁵では、タッピング速度のペーシングを実施すると、遅いペースでは減速することはなかったが、速いペースでは30秒間そのペースを維持できず徐々に減速した。これらの結果より、ある速度以上で打鍵をした場合、入力スピードを維持できず徐々に入力速度が低下することが示唆された。

打鍵操作の特性を、入力記録と表面筋電図データおよび撮影動画を組み合わせて評価したことに関しては、これまで、打鍵は入力数や動作数といった量的な評価に焦点が当てられていたが、表面筋電図および撮影動画と照合することで新たな情報が得られた。

「入力記録」「表面筋電図」「撮影動画」の3つの分析方法について、各分析方法には次のような特性がある。入力記録は、有効な入力数が算出できる。有効な入力数は、競技において最も重要な結果である。入力数は、入力記録による集計が最も正確である。入力間隔は原則的に規則的であるため、入力間隔が

不自然な場合はミスタッチである可能性があることが推測できる。表面筋活動は、前腕伸筋と前腕屈筋のバーストが交互に出現し、打鍵の動作の回数を確認することができる。打鍵のような高速の動作も表面筋電図で検出ができる。撮影動画は、どのような手のフォームで入力しているか、そのフォームが時間の経過とともに変化するかどうかを視覚的に確認できる。それぞれの分析方法で得られる情報は異なるが(表5)、複数の分析方法を組み合わせることによって1つの分析方法では不明であったことが検出できることが示された(図18)。

表 5 入力記録、表面筋電図、撮影動画での得られる情報の違い

| | 入力数 | 動作数 | 動作の 状況と変化 |
|-------|-----|-----|--------------|
| 入力データ | ◎ | △ | × |
| 表面筋電図 | × | ◎ | × |
| 撮影動画 | × | ○ | ◎ |

◎ : 最適, ○: 可能, △ : 推測は可能, × : 不可

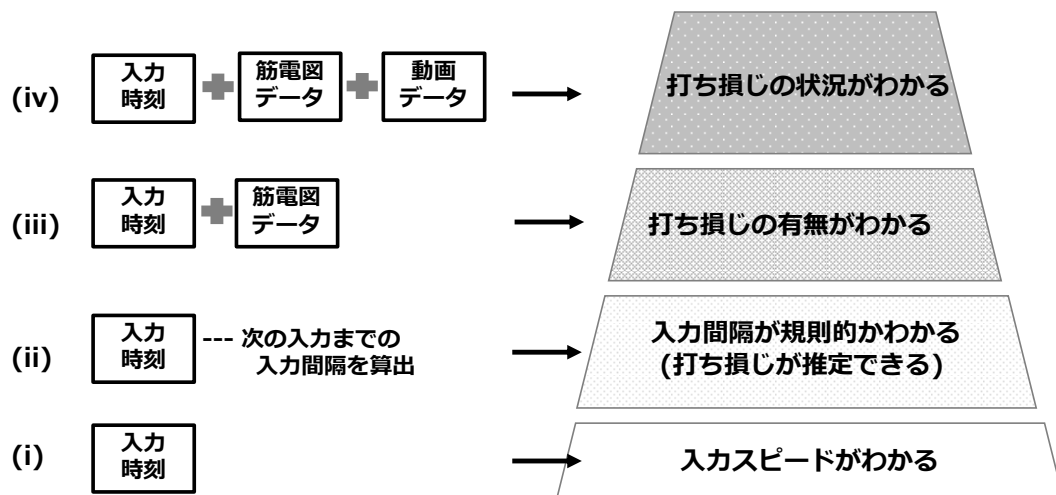


図 18 入力時刻、筋活動と撮影動画の照合によって検出可能な内容

入力記録と表面筋電図を比較すると、入力記録において、入力間隔が前後と比較して広いところで、表面筋電図のバーストがない場合とある場合がある。前者は、タイミングがずれたか入力動作をしなかったもので、後者は打つ意思はあったが入力を失敗したミスタッチであることが推察される。入力記録と動画を比較することによっても、打つ意思はあったが入力を失敗したミスタッチであることのみが推察できる。筋電図と動画の比較により、動画では確認されなかったが筋電図で確認された筋活動の発生の記録があり、表面筋電図は詳細な検出に適している。一方で、動画では、左薬指、他の指、手首の関節の動き方や、時間経過に伴うフォームの変化など、フォームの特定の個人差を確認するのに役立つ。疲労を推測するには、表面筋電図と動画の両方から全体的な理解を得る必要がある。2つの分析方法を照合することで、ミスタッチの存在を確認し、打鍵の質的な評価を可能にする。3つの分析方法、つまり入力記録、表面筋電図、撮影動画を照合すると、ミスタッチが、キーを叩いたが、浅いまたは弱かったために入力が成功しなかったと思われる状況や、指の挙上が十分でないためにキーが押し込まれたままであるという状況など、ミスタッチの詳細を確認することができる。

入力記録と表面筋電図の照合による個人的特徴としては、「平均速度よりも速い速度でミスタッチがある被験者」、「平均値に近い速度でミスタッチがほぼないかごく少量である被験者」、「平均速度よりも遅い速度でミスタッチがある被験者」があった。入力速度とミスタッチの回数の特徴の傾向は、トレーニングの方向性の決定に役立つ可能性がある。

打鍵方法については、手掌をパームレストの上に置き、手関節を屈伸させて叩く被験者、中手骨指節骨間関節を屈伸させて叩く被験者もいた。指のタッピングと手首を使ったタッピングでは手首を使ったタッピングのほうが速いという研究結果⁸³と同様の傾向が観察された。速く負担の少ない打ち方について検討できる可能性がある。

本研究では手関節以遠のみに着目したが、撮影動画の中でも打鍵の継続中にわずかではあるが体幹が揺れる様子が確認できた。姿勢も打鍵の速さと精度に影響を与える要素であると考えられる。肘関節や肩関節の位置や体幹の安定などの影響も検討が必要である。

第5節 結論

本研究では、左薬指でできるだけ速く連続して打鍵するという課題に対し、30秒の間に速度が低下し自覚的疲労感を認めることが確認できた。また打鍵の速さは目視で「ミスタッチ」があるかを判別することが難しいため、先行研究では入力数や動作数を評価しており「ミスタッチ」の有無の概念はなかった。入力時刻と表面筋電図、動画の3つの分析方法を照合することで「ミスタッチ」があることが確認できた。また、動画データにより叩くような打ち方や突くような打ち方といった打ち方の個人差や、入力数が多くミスが多い者、入力数は中程度だがほとんどミスがない者、入力数が少なくミスも多い者といった人もあることが確認できた。本研究の打鍵操作負荷評価プロトコルの開発により質的な評価もでき有用であることが示唆された。

第6章 打鍵操作に対する静的ストレッチングの効果の検証

第1節 序論

第1研究の結果により、高校生プレイヤーがセルフケアとしてストレッチングを取り入れていることが示されたが、近年のストレッチングに関する報告では、直後の筋力を低下させるという報告や、条件によって結果が異なるとの報告があり、結果は一様ではない。

そこで、第2研究で開発した打鍵操作負荷評価プロトコルを利用し、静的ストレッチングの打鍵操作に及ぼす影響を検討する。

第2節 方法

被験者は、プレイヤーとして比較的一般的な年齢層である、20代の健康成人男性12名とした。平均年齢、身長、体重は、それぞれ 25.4 ± 2.6 歳、 171.7 ± 7.5 cm、 69.8 ± 12.0 kgであった。日常的にコンピュータゲームを行っている者や日常的に手を過度に使用する者はいなかった。

打鍵を記録する方法は研究2の方法と同様とした。高速連続打鍵は左薬指での同じキーの連打とし、合図から合図まで最大速度で打鍵するよう指示した。1トライアルの所要時間を30秒としたが、被験者にはペース配分がないよう「合図から合図まで20～30秒程度」と説明し、モニター上には時刻がわかるものは非表示とした。モニターでは累計打鍵数を表示させ、なるべく多く打鍵するよう指示した。高速連続打鍵の間、激励などの介入は行わなかった。手関節の固定は行わなかったが、手掌、手首、肘を浮かせずに打つよう指示した。

打鍵は、30秒間のトライアルをトライアル1、2、3、4の4回行った。各トライアルの間に60秒のインターバルを設け、インターバルの間はキーボードから手を離し腕は下垂とした。打鍵数の集計方法は、開始合図後の最初の打鍵時刻を開始時刻(0秒)とした。1秒あたりの打数よりも、一定打数あたりの所要時間の方がより詳細な差異が検出できるため、開始から10打ごと、つまり0～10打、11～20打、・・・111～120打の所要時間を算出した。入力記録の時刻と、表面筋電図の筋活動および撮影動画の押下動作を照合し、筋電図および動画で押下動作が確認できるが入力記録のないミスタッチの数を集計した。

トライアル1、2後のインターバルは無介入とし、トライアル3後のインター

バルでは20秒の静的ストレッチング介入をした(図19)。トライアルの前後で前腕の主観的疲労感としてVASを記録し、前腕屈筋と前腕伸筋の筋硬度を測定した。第2研究と同様の方法で入力時刻、前腕伸筋、前腕屈筋の表面筋電図、手の打鍵操作の動画を撮影した。

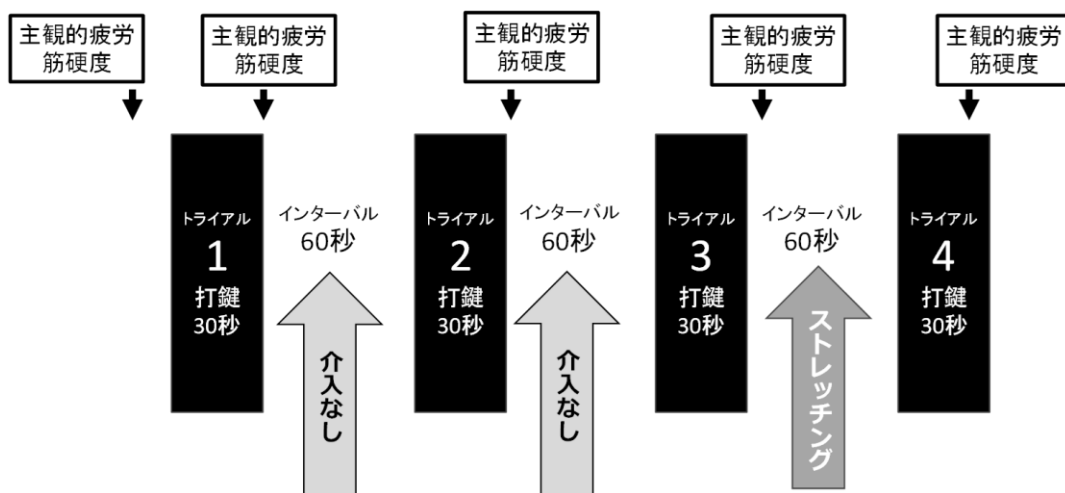


図 19 静的ストレッチングの検証実験のフロー

静的ストレッチの対象部位は、先行研究で、前腕屈筋よりも前腕伸筋のほうが筋疲労の影響を受けやすいという報告⁸⁴があることから、前腕伸筋群に対して実施することにした。被検者は座位のままとし、左腕に対し肘関節0度で手関節を掌側に屈曲し、さらに指関節、とくに薬指を中心に屈曲した。前腕伸筋を反動なくゆっくりと伸展し、被検者の快適な張力で20秒間保持した。静的ストレッチは、あん摩マッサージ指圧師が行った。

分析は、Excelによって集計を行い、SPSS27 (IBM、米国)を統計分析に使用した。有意水準を5%未満に設定し、Wilcoxonの順位検定を行った。

第3節 結果

前腕屈筋と前腕伸筋の主観的疲労感は、トライアル前とトライアル1、トライアル1とトライアル2、トライアル2とトライアル3と、トライアルごとに有意に増加したが、トライアル3からトライアル4、つまりストレッチを行った後のトライアル実施後は有意差がなかった($p>0.05$) (図20)。前腕屈筋と前腕伸筋の筋硬度は、トライアルごとに有意な変化はなく、ストレッチ後の変化もなかった(図21)。

10打にかかる時間は、各トライアルとも経時的に徐々に増加、つまり減速した(図22)。序盤の打鍵間隔は、トライアル1、トライアル2、トライアル3と繰り返すことで平均値は増加したが有意差はなかった。ストレッチング後トライアル4の序盤の0～10打、30～40打の所要時間はトライアル3と比較して有意に減少、つまり打鍵のスピードが速くなった。

ミスタッチについて、10打毎の発生回数を図23に示した。ミスタッチは、トライアルごとに有意な変化はなく、ストレッチ後の変化もなかった。

(n=12)

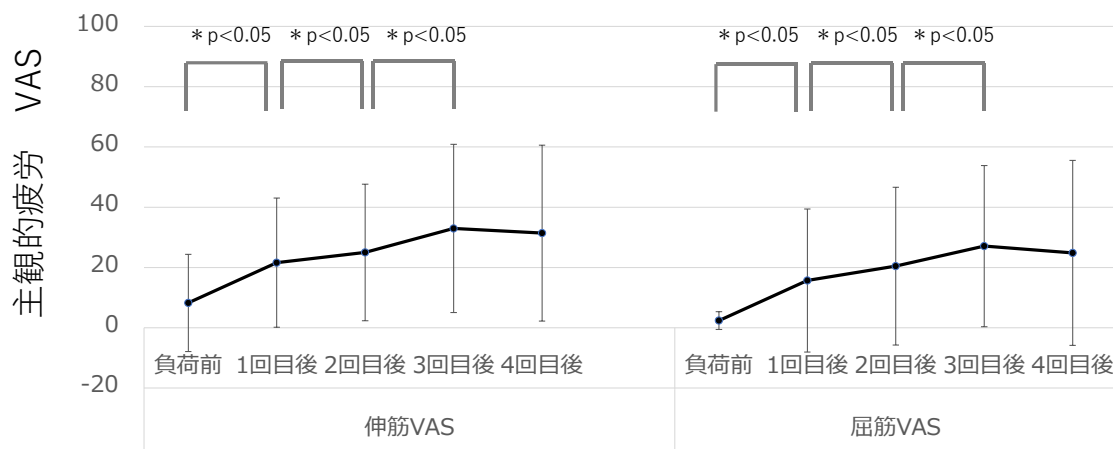


図 20 主観的疲労感の変化

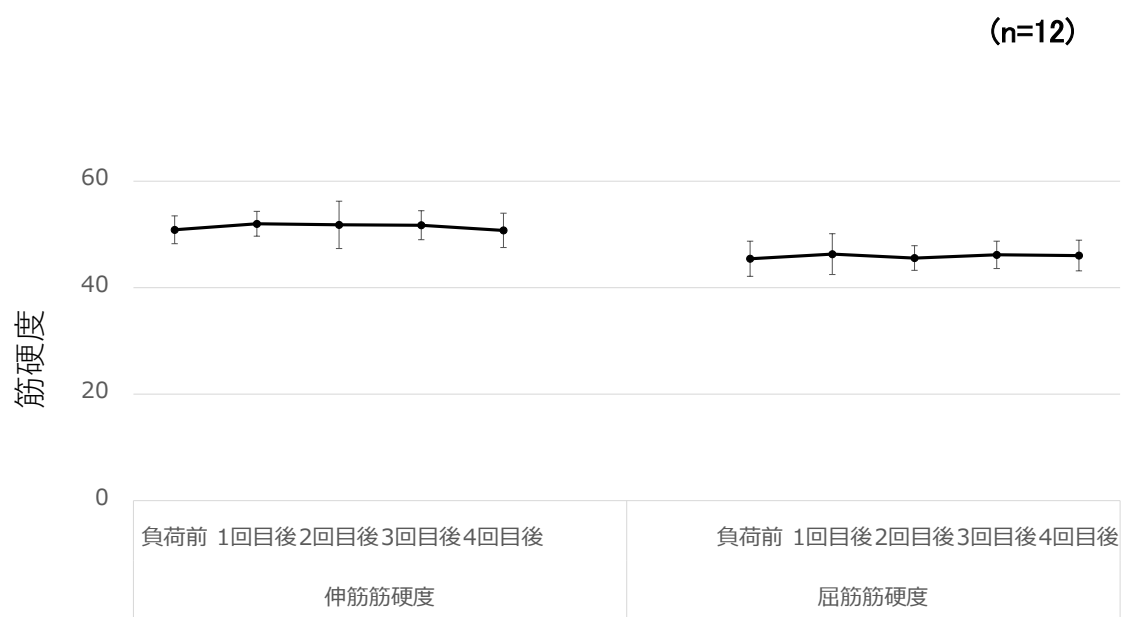


図 21 筋硬度の変化

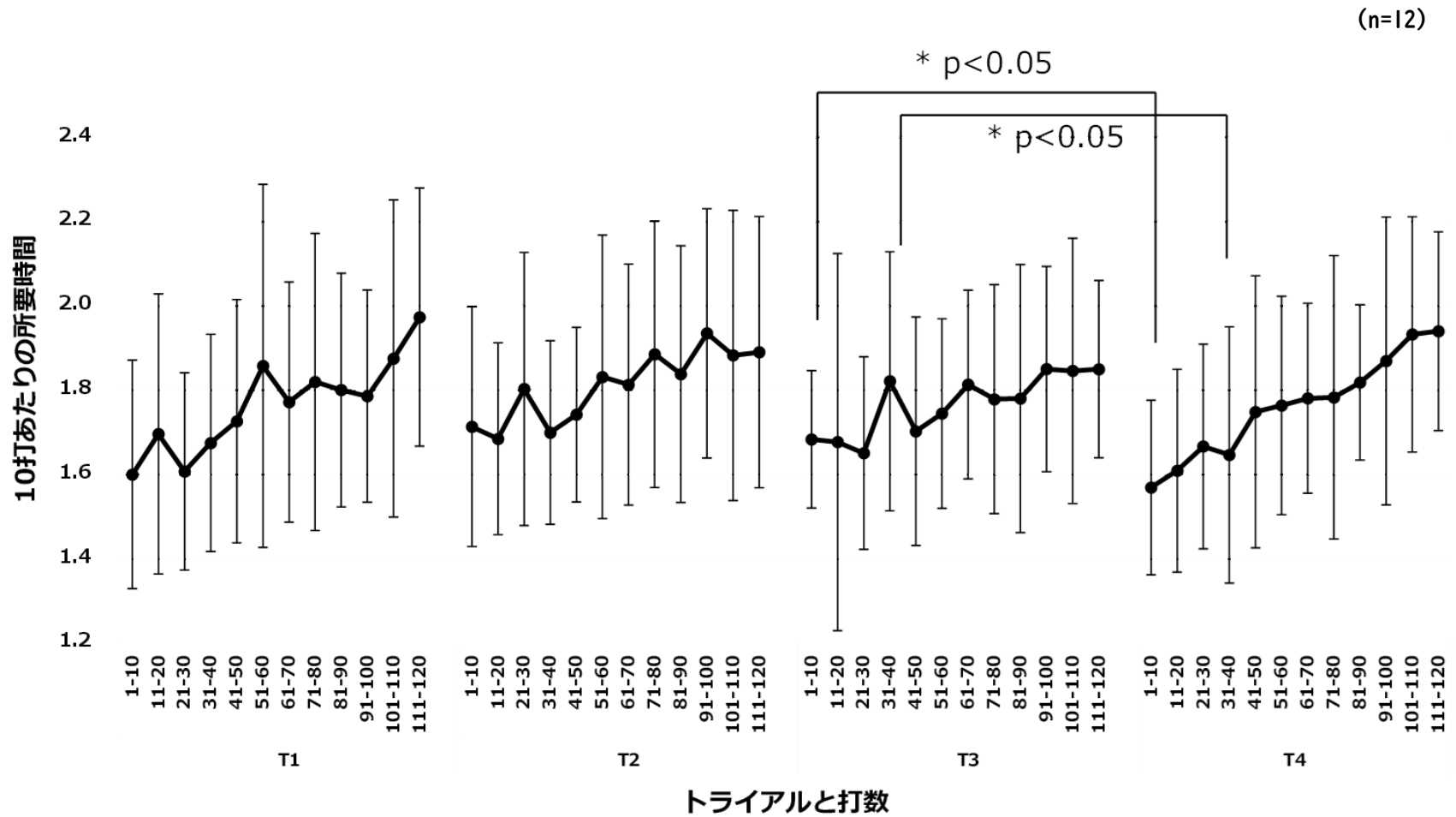


図 22 10 打ごとの所要時間の経時変化

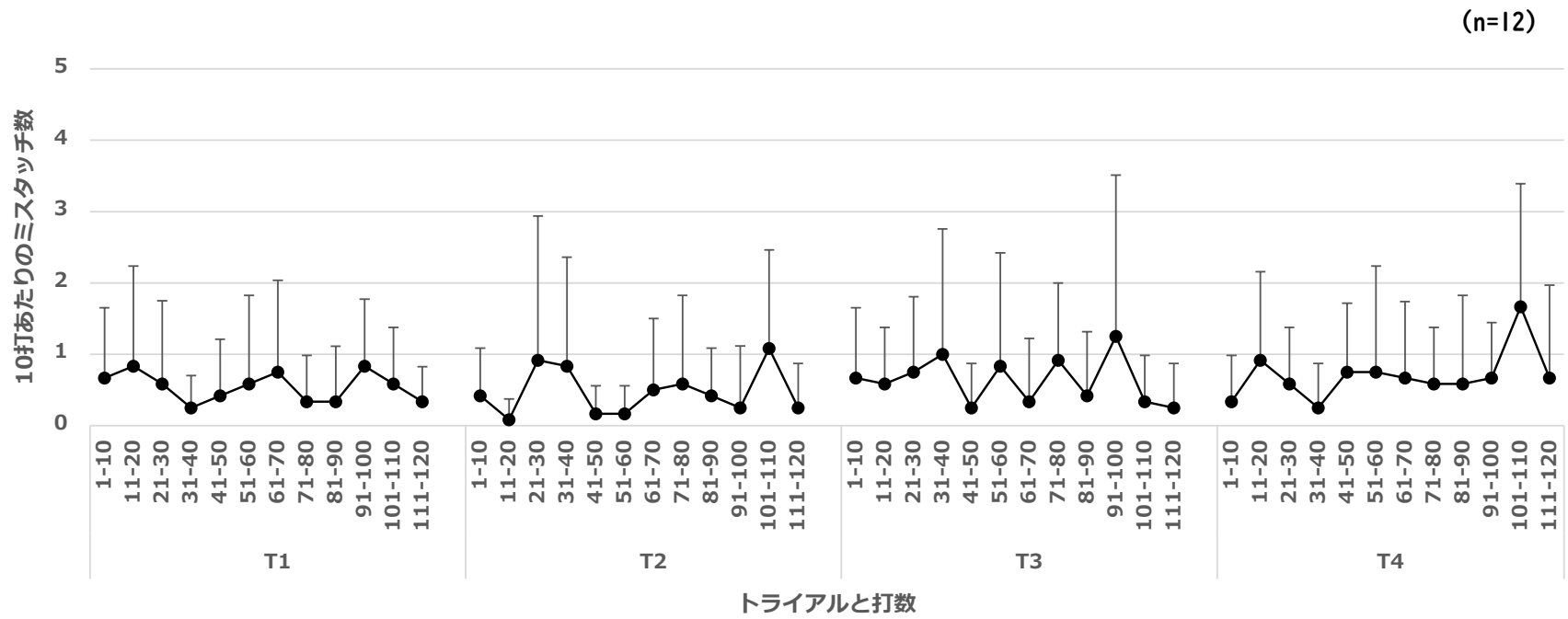


図 23 10 打ごとのミスタッチ数の経時変化

第4節 考察

本研究の結果、30秒打鍵を1回、2回、3回と繰り返すことで、自覚的疲労感は徐々に増加し、序盤の10打あたりの所要時間が若干増加した。静的ストレッチングを実施することにより、自覚的疲労感は上昇せず序盤10打目までの所要時間が有意に減少した。静的ストレッチングに関する先行研究では、競技前に実施することはパフォーマンスを下げるという結果も報告されているが⁴⁸、ストレッチ実施直後の高速連続打鍵の序盤のスピードにおいても肯定的な影響を認め、序盤以降については有意な差はなかった。eスポーツの競技では、開始直後の入力スピードが勝敗を分ける場面もあるため、開始直後の序盤に良い効果があるということは、競技間のインターバルに静的ストレッチングを実施することが、競技において有利な影響をもたらす可能性がある。

主観的疲労感のVASは、トライアルを重ねるごとに増加したが、ストレッチング後では増加が抑制された。先行研究では、0～10のBorg scaleを使用して親指を除く両手の8本の指が経験する疲労を主観的に評価しており、右示指と左薬指で合計指疲労レベルはそれぞれ 1.6 ± 1.8 および 2.9 ± 2.1 であったこと報告している⁴¹。VASを使用して慢性筋骨格痛(軽度、中等度、または重度)の程度を測定した研究では軽度の疼痛のカットオフスコアとして $\leq 34\text{mm}$ としている⁸⁵。本研究における30秒打鍵の主観的疲労感は軽度であると考えられるが、打鍵の前後で有意差があり、打鍵を繰り返すことで上昇していくことから、疲労に関する指標の1つとして有用であると考えられる。

一方、筋硬度は打鍵の前後、打鍵タスクを繰り返すことによっても変化がな

かった。先行研究によると、筋硬度は運動負荷とともに増加することが示されている⁸⁶ため、打鍵操作は筋硬度を上昇させる可能性があるかと仮定したが、筋硬度は有意な変化はなかった。理由として、筋硬度は変化しなかったのか、変化が検出できるレンジ未満であったのか、測定方法に問題があったのかについては不明であり、打鍵の負荷の指標としては検討が必要である。

本研究は、日常的に打鍵をするような仕事や趣味を行っていない健康成人を対象とした。先行研究では、利き手は非利き手と比較し打鍵数が多いことが示されている³⁹⁻⁴¹。熟練ピアニストと非ミュージシャンを比較した研究では、熟練したピアニストは非ミュージシャンと比較して、薬指と小指でより多くの打鍵を行っている³⁶。これらは、非利き手の薬指は普段の打鍵速度が少ないことを示唆している。一方、練習の頻度が多いプレイヤーの打鍵速度は、過労や酷使による怪我により低下する可能性もある。

主観的な疲労感は、トライアル1、2、3と繰り返すことで有意に増加した。先行研究^{84, 87}より、前腕伸筋が前腕屈筋よりも早く疲労すると予想したが、前腕伸筋と伸筋の間に有意差はなく、値はほぼ同様のレベルで変化した。

トライアル2における負荷の蓄積を反映し、トライアル3の序盤の打鍵数の減少の傾向があり、主観的疲労が増加したと考えられる。しかし、ストレッチ後のトライアル3からトライアル4では、主観的疲労が上昇せず、トライアル4で序盤10打の所要時間は有意に減少、つまり打鍵のスピードは上昇した。トライアル4序盤の10打はトライアル1序盤の10打と近い値であり、10打以降は、30～40打以外は有意な差はなかった。この知見は、ストレッチ後の序盤の

10打のパフォーマンス能力が一時的に回復することを示唆している。

今回は前腕伸筋のみを対象に介入を行ったが、連続打鍵は前腕伸筋と前腕屈筋の両筋が作用しているため、前腕屈筋への介入の効果も検証すべきであると考えられる。また、静的ストレッチングの方法については、あん摩マッサージ指圧師や理学療法士、アスレチックトレーナーといった専門家により、これまで以上に適切な指導を行う必要があると考えられる。

第5節 結論

本研究では、静的ストレッチングが打鍵に与える影響について検討した。30秒打鍵を3回繰り返すことで、自覚的疲労感は徐々に増加し、序盤のスピードは若干減速した。しかし、静的ストレッチングを実施した直後のトライアル4では自覚的疲労感は上昇せず、序盤10打目までの所要時間が有意に減少した。

静的ストレッチングは、実施直後のパフォーマンスに悪影響があるという報告があるが、eスポーツを想定した打鍵に関しては、打鍵の繰り返しにより低下した序盤のスピードを回復させる肯定的な影響があり、競技間のインターバル等に取り入れることが有用である可能性が示唆された。

第7章 総合考察

eスポーツは若年者を中心に人気があり、プレイヤーが増加しているが、プレイの際のキーボード打鍵操作は、スピード、量、指の使い方は非日常なもので、故障で引退するトッププレイヤーも存在する。そのため打鍵がプレイヤーの身体への負荷になっている可能性があると考え、調査研究、負荷評価モデルの開発、評価モデルを利用した介入研究により検討を行った。

各研究課題から以下の3つの成果が得られた。1つ目は、本邦の高校生プレイヤーの約8割が愁訴を有し、約7割がセルフケアを行っており、ストレッチングを行っているという現状を示したこと、2つ目は、eスポーツを想定した高速連続打鍵について、速度および精度を評価できるモデルを開発できたこと、3つ目は、静的ストレッチングは打鍵操作では肯定的な効果があることを示したことである。

eスポーツの研究を行うにあたり、第1研究の調査研究では、プロのeスポーツプレイヤーではなく、若年プレイヤーとして大会に出場している高校生プレイヤーを対象とした。これは若くして引退するプロプレイヤーがいることから、従来スポーツと同様に若い時期からケアが必要であると考えたこと、大規模な高校生全国大会が行われていること、プロや大学生のeスポーツプレイヤーに対する先行研究はあるが、高校生を対象にした研究はないことが理由である。また、第2研究の打鍵評価の開発および第3研究の高速打鍵へのストレッチングの効果に関する研究では、プレイヤーではない一般男性を対象としたが、これはeスポーツの身体的な負担についての先行研究がないため、日常的に練習を

行っているeスポーツプレイヤーでは、連続高速打鍵に対する慣れや打鍵トレーニングによる疲労の影響等のさまざまな攪乱因子が予想され、運動自体の負荷を明らかにできないと考えたことが理由である。今後、プレイヤーを対象とする際には、学生かどうか、学校は通学制か通信制かなどによってプレイヤーの練習状況や生活条件が異なるため年齢や属性を踏まえた検討が必要である。

本研究によって、開発した高速打鍵操作の分析方法は、目視では確認できない速さの動作について、入力記録だけでなく、表面筋電図、撮影動画を組み合わせることで打鍵数という量だけでなく、ミスタッチという質の面でも評価できるようになった。量という結果だけでなく、質にも着目することで負荷量の詳細な分析に繋がり、eスポーツのみならず、ピアノやギターといった音楽分野や、疾患や症状を評価する医学や、パソコンキーボードを使用するICT関連などの産業の分野にも応用できる可能性がある。

本研究は、eスポーツの運動器愁訴についてスポーツ医学の視点から着目し指での負担とそのケア方法を初めて実験的に検証した研究である。eスポーツは従来のスポーツと運動の種類、強度は異なるが、スポーツ医学の介入によって、eスポーツプレイヤーのパフォーマンスの向上や競技人生の充実につながる可能性があり、eスポーツの健全な発展に貢献し得ると考える。また今後も若年プレイヤーの増加が見込まれ、成長産業であるeスポーツは、スポーツ医学の研究者やトレーナーが貢献できる新たな分野となり得るなど、eスポーツとスポーツ医学双方に有用な知見となると考えられる（図24）。

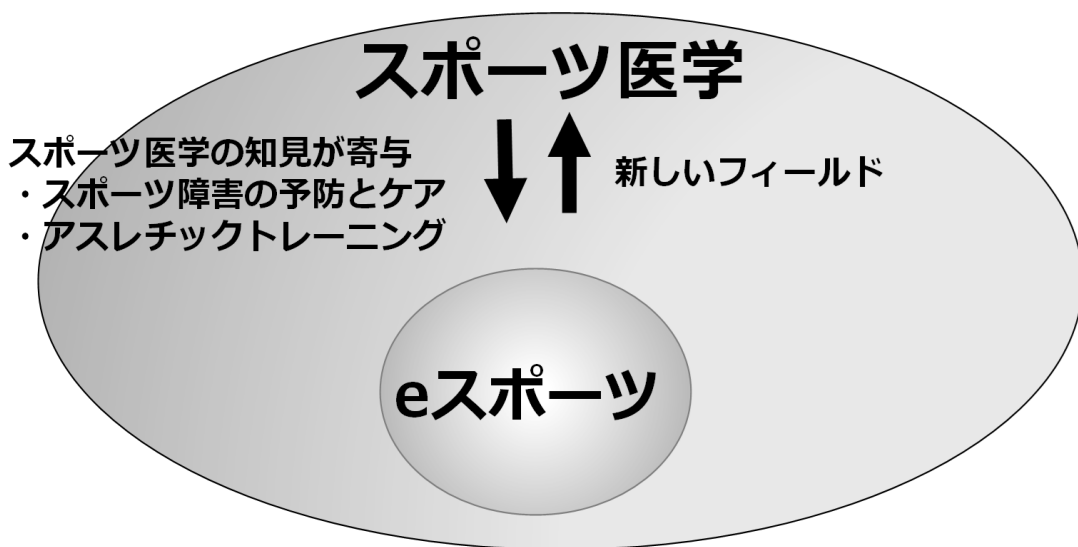


図 24 スポーツ医学における e スポーツ

第8章 結論

若年者である高校生eスポーツプレイヤーの調査で上肢に愁訴を有する者がいたこと、eスポーツを想定した高速連続打鍵において30秒という時間でスピードが低下することや打ち損じがあることから、今後eスポーツ障害につながる可能性を孕んでいることがわかった。スポーツ医学が介入すべき愁訴がありうること、スポーツ医学で使われる手法で打鍵について分析を行ったことで打鍵の量だけでなく質的な評価を可能としたこと、静的ストレッチングについてこれまでと異なる筋および運動様式に対しては肯定的な結果であった、という新たな知見が得られた。

引用文献

1. 一般社団法人日本eスポーツ連合. eスポーツとは. 一般社団法人日本eスポーツ連合オフィシャルサイト eスポーツとは. Accessed October 16, 2022. https://jesu.or.jp/contents/about_esports/
2. Tidy J. US teenager wins \$3m as Fortnite world champion. BBC News Services. Published July 28, 2019. Accessed June 17, 2021. <https://www.bbc.com/news/technology-49146644>
3. 日本経済新聞社. 「eスポーツ」日本へ上陸 賞金1000万ドルも. 日本経済新聞社. Published July 25, 2014. Accessed September 23, 2022. https://www.nikkei.com/article/DGXNASFK2300K_T20C14A7000000/
4. 黒川文雄. eスポーツのすべてがわかる本 プロゲーマー、業界のしくみからお金の話まで. 日本実業出版社; 2019.
5. Gough C. eSports market revenue worldwide from 2020 to 2025. Statista. Published September 22, 2022. Accessed September 27, 2022. <https://www.statista.com/statistics/490522/global-esports-market-revenue/>
6. 岡安学. みんなが知りたかった 最新eスポーツの教科書. 秀和システム; 2019.

7. 岸大河. 日本テレビeスポーツ番組「eGG」. プロのeスポーツプレイヤーになる!. 河出書房新社; 2019.
8. 但木一真. 1億3000万人のためのeスポーツ入門. NTT出版; 2019.
9. 日本学術会議. 科学的エビデンスを主体としたスポーツの在り方. 日本学術会議ホームページ. Published June 18, 2020. Accessed September 1, 2022. <https://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-24-t290-5.pdf>
10. Coca-Cola STAGE:0 eSPORTS High-School Championship 公式サイト.
STAGE:0 (ステージゼロ) | 全国高校対抗eスポーツ大会 公式サイト.
Published 2020. Accessed September 1, 2021.
<https://stage0.jp/results/2020/>
11. Cogley M. Esports “icon” retires at 23 due to health concerns. The Telegraph. Published June 5, 2020. Accessed May 24, 2021.
<https://www.telegraph.co.uk/technology/2020/06/05/esports-icon-retires-23-due-health-concerns/>
12. Leporati G. Aching wrists, early retirement and the surprising physical toll of esports. The Washington Post. Published March 14, 2022. Accessed November 27, 2022.
<https://www.washingtonpost.com/video-games/esports/2022/03/14/professional-esports-athlete-injuries/>

13. Emara AK, Ng MK, Cruickshank JA, et al. Gamer' s Health Guide: Optimizing Performance, Recognizing Hazards, and Promoting Wellness in Esports. *Current Sports Medicine Reports*. 2020;19(12):537-545.
14. Zwibel H, DiFrancisco-Donoghue J, DeFeo A, Yao S. An Osteopathic Physician' s Approach to the Esports Athlete. *The Journal of the American Osteopathic Association*. 2019;119(11):756-762.
15. Furuya S, Nakahara H, Aoki T, Kinoshita H. Prevalence and Causal Factors of Playing-Related Musculoskeletal Disorders of the Upper Extremity and Trunk among Japanese Pianists and Piano Students. *Medical problems of performing artists*. 2006;21(3):112-117.
16. Sauter SL, Schleifer LM, Knutson SJ. Work posture, workstation design, and musculoskeletal discomfort in a VDT data entry task. *Human factors*. 1991;33(2):151-167.
17. Carter JB, Banister EW. Musculoskeletal problems in VDT work: a review. *Ergonomics*. 1994;37(10):1623-1648.
18. Bruno S, Lorusso A, L' Abbate N. Playing-related disabling musculoskeletal disorders in young and adult classical piano students. *International archives of occupational and environmental health*. 2008;81(7):855-860.

19. Clarsen B, Myklebust G, Bahr R. Development and validation of a new method for the registration of overuse injuries in sports injury epidemiology: the Oslo Sports Trauma Research Centre (OSTRC) overuse injury questionnaire. *British journal of sports medicine*. 2013;47(8):495-502.
20. Bahr R. No injuries, but plenty of pain? On the methodology for recording overuse symptoms in sports. *British journal of sports medicine*. 2009;43(13):966-972.
21. Johnson JH. Overuse Injuries in Young Athletes: Cause and Prevention. *Strength and conditioning journal*. 2008;30(2):27-31.
22. DiFrancisco-Donoghue J, Balentine J, Schmidt G, Zwibel H. Managing the health of the eSport athlete: an integrated health management model. *BMJ open sport & exercise medicine*. 2019;5(1):e000467.
23. Lindberg L, Nielsen SB, Damgaard M, Sloth OR, Rathleff MS, Straszek CL. Musculoskeletal pain is common in competitive gaming: a cross-sectional study among Danish esports athletes. *BMJ open sport & exercise medicine*. 2020;6(1):000799.

24. Takakura N, Hiramatsu Y, Takanashi T, et al. Acupuncture for eSport athletes. *Acupuncture in Medicine*. 2020;38(2):121-122.
25. Ersin A, Tezeren HC, Ozunlu Pkyavas N, et al. The relationship between reaction time and gaming time in e-sports players. *Kinesiology* . 2022;54(1):36-42.
26. Zimmer RT, Haupt S, Heidenreich H, Schmidt WFJ. Acute Effects of Esports on the Cardiovascular System and Energy Expenditure in Amateur Esports Players. *Frontiers in sports and active living*. 2022;4:Article824006.
27. Moen F, Vatn M, Olsen M, Haugan JA, Skalicka V. Sleep Characteristics in Esport Players and Associations With Game Performance: Residual Dynamic Structural Equation Modeling. *Frontiers in sports and active living*. 2021;3(Article697535):1-13.
28. DiFrancisco-Donoghue J, Jenny SE, Douris PC, et al. Breaking up prolonged sitting with a 6 min walk improves executive function in women and men esports players: a randomised trial. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*. 2021;7(3):e001118.
29. 河崎英武. 成長期に於ける急速反復運動能力に関する調査研究. *民族衛生*. 1944;12(5):290-302.

30. 猪飼道夫, 山川純子. 急速反復動作における疲労の現われ方. 体育学研究. 1951;1(2):168-173.
31. 春山国広. 急速反復動作の測定に関する研究. 筑波大学体育科学系紀要. 1978;1:101-110.
32. Aoki T, Tsuda H, Kinoshita H. Temporal and Force Characteristics of Rapid Single-Finger Tapping in Healthy Older Adults. Motor Control. Published online April 10, 2019:518-534.
33. Zhang L, Lei L, Zhao Y, et al. Finger Tapping Outperforms the Traditional Scale in Patients With Peripheral Nerve Damage. Frontiers in physiology. 2018;9:1361.
34. Lan BL, Yeo JHW. Comparison of computer-key-hold-time and alternating-finger-tapping tests for early-stage Parkinson's disease. PLoS One. 2019;14(6):e0219114.
35. Damme KSF, Osborne KJ, Gold JM, Mittal VA. Detecting motor slowing in clinical high risk for psychosis in a computerized finger tapping model. European archives of psychiatry and clinical neuroscience. 2020;270(3):393-397.

36. Aoki T, Furuya S, Kinoshita H. Finger-tapping ability in male and female pianists and nonmusician controls. *Motor Control*. 2005;9(1):23-39.
37. 肝付邦憲. 人の指の運動速度について2 タッピング速度の事務作業者と林業労働者における比較. *労働科学*. 1967;43(10):585-596.
38. Aoki T, Francis PR, Kinoshita H. Differences in the abilities of individual fingers during the performance of fast, repetitive tapping movements. *Experimental brain research*. 2003;152(2):270-280.
39. Hervé PY, Mazoyer B, Crivello F, Perchey G, Tzourio-Mazoyer N. Finger tapping, handedness and grey matter amount in the Rolando' s genu area. *Neuroimage*. 2005;25(4):1133-1145.
40. Thomas Gualtieri C, Johnson LG. Reliability and validity of a computerized neurocognitive test battery, CNS Vital Signs. *Archives of clinical neuropsychology*. 2006;21(7):623-643.
41. Ekşioğlu M, İşeri A. An estimation of finger-tapping rates and load capacities and the effects of various factors. *Human factors*. 2015;57(4):634-648.

42. Thomas CJ, Rothschild J, Earnest CP, Blaisdell A. The Effects of Energy Drink Consumption on Cognitive and Physical Performance in Elite League of Legends Players. *Sports*. 2019;7(9):10.3390/sports7090196.
43. Rodrigues JP, Mastaglia FL, Thickbroom GW. Rapid slowing of maximal finger movement rate: fatigue of central motor control? *Experimental brain research*. 2009;196(4):557-563.
44. Teo WP, Rodrigues JP, Mastaglia FL, Thickbroom GW. Post-exercise depression in corticomotor excitability after dynamic movement: a general property of fatiguing and non-fatiguing exercise. *Experimental brain research*. 2012;216(1):41-49.
45. Bächinger M, Lehner R, Thomas F, Hanimann S, Balsters J, Wenderoth N. Human motor fatigability as evoked by repetitive movements results from a gradual breakdown of surround inhibition. *Elife*. 2019;8:e46750.
46. Soto-Leon V, Alonso-Bonilla C, Peinado-Palomino D, et al. Effects of fatigue induced by repetitive movements and isometric tasks on reaction time. *Human movement science*. 2020;73:1-8.

47. Young WB, Behm DG. Should static stretching be used during a warm-up for strength and power activities? *Strength and Conditioning Journal*. 2002;24(6):33-37.
48. Behm DG, Chaouachi A. A review of the acute effects of static and dynamic stretching on performance. *European journal of applied physiology*. 2011;111(11):2633-2651.
49. Herbert RD, de Noronha M, Kamper SJ. Stretching to prevent or reduce muscle soreness after exercise. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2011;(7):CD004577.
50. 森山英樹, 増子潤, 金村尚彦, 木藤伸宏, 小澤淳也, 今北英高, 高柳清美, 伊藤俊一, 磯崎弘司, 出家正隆. 運動器疾患に対するストレッチングの効果. *理学療法学*. 2011;38(1):1-9.
51. Kay AD, Blazeovich AJ. Effect of acute static stretch on maximal muscle performance: a systematic review. *Medicine and science in sports and exercise*. 2012;44(1):154-164.
52. Rogan S, Wüst D, Schwitter T, Schmidbleicher D. Static stretching of the hamstring muscle for injury prevention in football codes: a systematic review. *Asian journal of sports medicine*. 2013;4(1):1-9.

53. Lewis J. A systematic literature review of the relationship between stretching and athletic injury prevention. *Orthopedic nursing*. 2014;33(6):312-320.
54. Apostolopoulos N, Metsios GS, Flouris AD, Koutedakis Y, Wyon MA. The relevance of stretch intensity and position—a systematic review. *Frontiers in psychology*. 2015;6:1128.
55. 大塚朱美, 石津みゑ子, 富樫千秋, 鈴木康宏. 地域包括ケアシステムの補完代替療法の活用: ストレッチングに関する文献検討. *千葉科学大学紀要*. 2015;(8):131-138.
56. Becerra Fernandez CA, Merino-Marban R. Efficacy of hamstring stretching programs in schoolchildren. A systematic review. *Timisoara Physical Education and Rehabilitation Journal*. 2015;8(15):36-43.
57. Behm DG, Blazevich AJ, Kay AD, McHugh M. Acute effects of muscle stretching on physical performance, range of motion, and injury incidence in healthy active individuals: a systematic review. *Applied physiology, nutrition, and metabolism*. 2016;41(1):1-11.

58. Medeiros DM, Cini A, Sbruzzi G, Lima CS. Influence of static stretching on hamstring flexibility in healthy young adults: Systematic review and meta-analysis. *Physiotherapy theory and practice*. 2016;32(6):438-445.
59. Mine K, Nakayama T, Milanese S, Grimmer K. Acute effects of stretching on maximal muscle strength and functional performance: A systematic review of Japanese-language randomised controlled trials. *Manual therapy*. 2016;21:54-62.
60. Mine K, Nakayama T, Milanese S, Grimmer K. Effectiveness of Stretching on Posterior Shoulder Tightness and Glenohumeral Internal-Rotation Deficit: A Systematic Review of Randomized Controlled Trials. *Journal of sport rehabilitation*. 2017;26(4):294-305.
61. Medeiros DM, Lima CS. Influence of chronic stretching on muscle performance: Systematic review. *Human movement science*. 2017;54:220-229.
62. Borges MO, Medeiros DM, Minotto BB, Lima CS. Comparison between static stretching and proprioceptive neuromuscular facilitation on hamstring flexibility: systematic review and meta-analysis. *European journal of physiotherapy*. 2018;20(1):12-19.

63. Freitas SR, Mendes B, Le Sant G, Andrade RJ, Nordez A, Milanovic Z. Can chronic stretching change the muscle-tendon mechanical properties? A review. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*. 2018;28(3):794-806.
64. Medeiros DM, Martini TF. Chronic effect of different types of stretching on ankle dorsiflexion range of motion: Systematic review and meta-analysis. *The Foot*. 2018;34:28-35.
65. Wanderley D, Lemos A, Moretti E, Barros MMMB, Valença MM, de Oliveira DA. Efficacy of proprioceptive neuromuscular facilitation compared to other stretching modalities in range of motion gain in young healthy adults: A systematic review. *Physiotherapy theory and practice*. 2019;35(2):109-129.
66. Cayco CS, Labro AV, Gorgon EJR. Hold-relax and contract-relax stretching for hamstrings flexibility: A systematic review with meta-analysis. *Physical therapy in sport*. 2019;35:42-55.
67. Becerra-Fernández CA, Mayorga-Vega D, Merino-Marban R. Effect of Physical Education-based stretching programs on hamstring extensibility in high school students: A systematic review. *Cultura, ciencia y deporte*. 2020;15(43):63-73.

68. Vialleron T, Delafontaine A, Ditcharles S, Fourcade P, Yiou E. Effects of stretching exercises on human gait: a systematic review and meta-analysis. *F1000Research*. 2020;9:984.
69. Torres JB, Conceição MCS, de Oliveira Sampaio A, Dantas EHM. Acute effects of static stretching on muscle strength. *Biomedical Human Kinetics*. 2009;1(1):52-55.
70. Knudson D, Noffal G. Time course of stretch-induced isometric strength deficits. *European journal of applied physiology*. 2005;94(3):348-351.
71. Kamada M, Abe T, Kitayuguchi J, et al. Dose-response relationship between sports activity and musculoskeletal pain in adolescents. *Pain*. 2016;157(6):1339-1345.
72. スポーツ庁. 運動部活動の在り方に関する総合的なガイドライン.
Published March 1, 2018. Accessed September 1, 2022.
https://www.mext.go.jp/sports/b_menu/shingi/013_index/toushin/__icsFiles/afieldfile/2018/03/19/1402624_1.pdf

73. 厚生労働省労働基準局長. 情報機器作業における労働衛生管理のためのガイドラインについて. 厚生労働省ホームページ. Published December 1, 2021. Accessed November 1, 2022.
<https://www.mhlw.go.jp/content/000539604.pdf>
74. 株式会社リベルタス・コンサルティング. 平成 26 年度文部科学省委託調査 平成 26 年度「家庭教育の総合的推進に関する調査研究」 睡眠を中心とした生活習慣と子供の自立等との 関係性に関する調査. 文部科学省 睡眠を中心とした生活習慣と子供の自立等との関係性に関する調査の結果. Accessed August 17, 2021.
https://www.mext.go.jp/a_menu/shougai/katei/__icsFiles/afieldfile/2015/04/30/1357460_01_1_1.pdf
75. Malhotra RK. Sleep, Recovery, and Performance in Sports. *Neurologic clinics*. 2017;35(3):547-557.
76. Stastny P, Gołaś A, Blazek D, et al. A systematic review of surface electromyography analyses of the bench press movement task. *PLoS One*. 2017;12(2):e0171632.
77. Hou X, Liu J, Weng K, Griffin L, Rice LA, Jan YK. Effects of Various Physical Interventions on Reducing Neuromuscular Fatigue Assessed by Electromyography: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in bioengineering and biotechnology*. 2021;9:659138.

78. 合田竜志, 古屋晋一, 片寄晴弘, 巳波弘佳, 長田典子. モーションキャプチャと筋電図計測を用いたピアノ演奏における連続指運動スキルの解明. 映像情報メディア学会技術報告. 2011;35(8):77-80.
79. Lopes TJA, Ferrari D, Ioannidis J, Simic M, Micolis de Azevedo F, Pappas E. Reliability and Validity of Frontal Plane Kinematics of the Trunk and Lower Extremity Measured With 2-Dimensional Cameras During Athletic Tasks: A Systematic Review With Meta-analysis. The Journal of orthopaedic and sports physical therapy. 2018;48(10):812-822.
80. Kerin F, Farrell G, Tierney P, McCarthy Persson U, De Vito G, Delahunt E. Its not all about sprinting: mechanisms of acute hamstring strain injuries in professional male rugby union—a systematic visual video analysis. British journal of sports medicine. 2022;56(11):608-615.
81. Kinoshita H, Miyakawa S, Naoki M, Kono I. Measurement of Tissue Hardness for Evaluating Flexibility of the Knee Extensor Mechanism. Football science. 2006;3:15-20.
82. Miyamoto T, Hamada J, Wada T, Terada K, Ichikawa A, Nabekura Y. Effect of Acupuncture using Press Needle on Muscle Pain and Stiffness after Marathon Race Double Blind Randomized Control Trial. Kampo Medicine. 2003;54(5):939-944.

83. 斉藤琴子, 丸山仁司. 測定部位の差異による上肢の敏捷性 および同調性への影響について. 理学療法科学. 2008;23(1):139-143.
84. Lin MI, Liang HW, Lin KH, Hwang YH. Electromyographical assessment on muscular fatigue--an elaboration upon repetitive typing activity. Journal of electromyography and kinesiology. 2004;14(6):661-669.
85. Boonstra AM, Schiphorst Preuper HR, Balk GA, Stewart RE. Cut-off points for mild, moderate, and severe pain on the visual analogue scale for pain in patients with chronic musculoskeletal pain. Pain. 2014;155(12):2545-2550.
86. 山本讓, 松橋明宏, 佐藤孝雄, 久光正, 岩本圭史. 新たに開発した筋硬度計を用いた総指伸筋, 上腕二頭筋に対する運動負荷後 筋硬度変化の測定. 昭和医学会雑誌. 1996;56(4):381-386.
87. Lacaze DH de C, Sacco I de CN, Rocha LE, Pereira CA de B, Casarotto RA. Stretching and joint mobilization exercises reduce call-center operators' musculoskeletal discomfort and fatigue. Clinics. 2010;65(7):657-662.

研究業績

本論文の一部は以下の論文に発表した。

- Okinaka Miyono, Wada Tsunehiko. The effect of static stretching on key hits and subjective fatigue in eSports. *Journal of Physical Therapy Science*. 2021;33(12):891-897.
- Okinaka Miyono, Kaneko Yasuhisa., Wada Tsunehiko. Questionnaire on Physical Complaints of High School Esports Players -Potential targets for acupuncture-. *Japanese Acupuncture and Moxibustion*. 2022;16(1):13-20.
- Okinaka Miyono, Wada Tsunehiko. Evaluation of the performance of key hits using input data, electromyography, and video analysis. *The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine*. 2022;12(1):27-33.

謝辞

本研究を遂行し学位論文をまとめるに当たり、指導教員として終始熱心なご指導を賜りました、筑波大学理療科教員養成施設 施設長 筑波大学大学院人間総合科学学術院人間総合科学研究群スポーツ医学学位プログラム 准教授、和田 恒彦 先生に深謝致します。

筑波大学大学院人間総合科学学術院人間総合科学研究群スポーツ医学学位プログラムリーダー 教授 高橋 英幸 先生、筑波大学大学院人間総合科学学術院人間総合科学研究群スポーツ医学学位プログラム 准教授 竹村 雅裕 先生、早稲田大学スポーツ科学学術院スポーツ科学部教授 前田 清司 先生には、本論文の作成にあたり、多大なご指導を賜りありがとうございました。

研究にご協力いただきました高校の皆様、筑波大学理療科教員養成施設の先生方、職員の皆様、施設生および理療研修生、臨床専攻生の皆様、プログラム作成に助言をいただいた嗟峨 砂与子 氏、研究遂行、論文執筆を支えてくださった沖中 慎司 氏には、本研究の遂行にあたり多大なご協力頂きました。厚く御礼申し上げます。