



柔道の練習における飛沫飛散の検討

三浦雅臣 (東京大学大学院 医学系研究科、全日本柔道連盟 医科学委員会)

井汲 彰 (筑波大学附属病院、全日本柔道連盟 医科学委員会)

柵山尚紀 (東京大学医科学研究所附属病院、全日本柔道連盟 医科学委員会)

宮崎誠司 (東海大学体育学部、全日本柔道連盟 医科学委員会)

三上靖夫 (京都府立医科大学大学院 医学研究科、全日本柔道連盟 医科学委員会)

永廣信治 (吉野川病院、全日本柔道連盟 医科学委員会)

Examination of Splash Dispersal in Judo Practice

Masaomi MIURA, Akira IKUMI, Naoki SAKUYAMA, Seiji MIYAZAKI, Yasuo MIKAMI and Shinji NAGAIHIRO



Abstracts

The main route of COVID-19 is considered to be droplet infection. Judo has the characteristics of a sport in which the contestants are paired up with their opponents in close proximity. Although the “Three-Cs” (closed spaces, crowded places, close-contact settings) are considered important for infection control, close-contact settings cannot be avoided in judo, and droplet infection is a concern while practicing the sport. Whether judo practice poses a risk of infection remains unverified till date. This study aimed to determine the extent to which the droplets are dispersed during judo practice. It was conducted with five judo-qualified medical personnel. They wore helmets with water-sensitive paper attached to them and practiced close-range conversations, reading, and judo with and without masks, and the number of droplets on the paper was measured and compared. The findings indicated that the number of splashed droplets in judo practice was less than that in conversation and reading without a mask, and wearing a mask significantly reduced them ($p < 0.05$). In addition, the number of droplets (numbers/paper) in uchikomi (46.3), nagekomi (10.1), and randori (21.0) practice was less than that produced during five minutes of conversation (46.8) or reading (83.7). These results suggest that the risk of infection from judo practice may not be high, and it is recommended that masks be worn during judo practice, depending on the infection situation.

(Tokai J. Sports Med. Sci. No. 35, 7-15, 2023)

新型コロナウイルス感染症の主な感染経路は、飛沫感染と考えられている。柔道は、相手と近距離で組み合う競技特性のため、感染対策において重要な「三密」(密閉、密集、密接)のうち「密接」を避けることができず、練習中は運動負荷によって呼吸が激しくなり、声を出す場面も多いことから飛沫感染が懸念される。一方で、柔道の練習が感染リスクにつながるかどうかの検証はされ

ていない。本研究の目的は、柔道特有の練習に伴う飛沫飛散量を測定し、柔道の練習が飛沫感染のリスクになるかを検証することである。柔道有段者の医療従事者5名が感水紙を貼付したヘルメット・フェイスシールドを装着し、柔道の練習と、近距離での会話と朗読における飛沫飛散量(飛沫数/感水紙1枚)を測定した。飛沫飛散量は感水紙1枚に付着した飛沫数を測定し比較した。柔道

の練習における飛沫飛散は、マスクなしの会話や朗読と比較して少なく、マスク着用により大幅に軽減できていた ($p < 0.05$)。また、打ち込み、投げ込み、乱取りの練習における飛沫飛散量は、それぞれ46.3、10.1、21.0であり、5分間の会話(46.8)や朗読(83.7)における飛沫飛散量より少なかった。柔道の練習による感染リスクは高くない可能性が示唆され、感染の状況に応じて練習中にマスクを着用することが推奨されると考えられた。

I. 緒言

新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) は、2019年12月初旬に中国の武漢市で最初の感染者が報告されてから、現在に至るまで世界的に流行している。COVID-19の主要な感染経路は、飛沫感染と考えられており¹⁾、感染対策においては、マスク着用、密集・密接・密閉といった「三密」の回避、換気、手洗い・手指消毒が重要である^{2,3)}。感染の流行によって多くの社会活動が制限されたが、感染対策を十分に行ったうえで安全に社会活動を再開するためのエビデンスの構築が随所でなされている⁴⁾。

柔道は、相手と近距離で組み合う競技特性のため、感染対策における三密の回避のうち「密接」を避けられず、飛沫感染が懸念される。これはコンタクトスポーツにおいてはどの競技においても問題となるが、屋内競技である柔道は、屋外競技よりも換気が難しく、より密集度が高い点からも、感染対策を十分に講じる必要がある。全日本柔道連盟医学委員会では、COVID-19が蔓延した当初から「新型コロナウイルス感染症対策と柔道練習・試合再開の指針」を策定し、感染の状況に応じて指針の改訂を2022年9月時点で6版まで行ってきた。必要に応じた練習中のマスクの着用や、健康記録表の提出や大会前のPCR検査などを活用し、試合や練習におけるサーベイランスを徹底することで、安全に柔道を行えるというエビデンス

を構築してきた⁵⁾。特に、2022年9月時点での指針では、感染症に配慮したうえで熱中症や競技の安全性も考慮し、練習中のマスク着用は必須とせず、感染者が発生したチームの練習では飛沫飛散防止のためマスク着用を推奨している⁶⁾。その一方で、柔道の練習そのものが感染リスクとなるかの検証はなされていない。他領域では、舞台芸術公演における舞台上からの飛沫飛散を測定した実験から、舞台芸術公演に関するガイドライン⁷⁾が出されていたり、胃カメラ実施時の飛沫を定量的に測定した実験⁸⁾が報告されたり、それぞれの分野での着実なエビデンス構築が行われている。本研究の目的は、柔道の練習における飛沫飛散量を計測し、柔道の練習がCOVID-19感染リスクを高めるか検証することである。

II. 方法

1. 被験者

対象は、柔道経験者5名(いずれも有段者)で、男性4名、女性1名で実験を行った。実験①・②は5名のうち3名で行い、実験③は5名で行った。実験①・②の被験者3名の平均年齢は 37.0 ± 2.4 歳、身長 173.3 ± 2.7 cm、体重 68.7 ± 2.4 kg、柔道経験年数は 25.7 ± 2.4 年であり、実験③の被験者5名の平均年齢は 36.0 ± 2.3 歳、身長 173.0 ± 2.9 cm、体重 76.6 ± 4.5 kg、柔道経験年数は 24.6 ± 2.1 年であった。被験者5名をA～Eとし、身長が180cm以上の身長高値群(被験者B、E)、身長が170～180cmの身長中値群(被験者A、D)、身長が170cm以下の身長低値群(被験者C)の3群になるよう身長別に分け、下記実験③では検討を加えた。

実験を行う2週間前から発熱や風邪症状がないか、健康チェックを行い、実験を開始する72時間以内にPCR検査を行い、陰性を確認したのち、実験を行った。また、本研究は東部地域病院倫理委員会の倫理審査で承認を受け実施した(受付番号: 1 (IRB21.9.7)、承認日: 2021年9月7日)。



図1a フェイスシールドに感水紙を貼付
Fig. 1a Water-sensitive paper attached to a face shield



図1b フルフェイスヘルメットに感水紙を貼付（左：外側の感水紙位置、中央：内側の感水紙位置、右：実施時の装着の様子）
Fig. 1b Water-sensitive paper attached to a full-face helmet (Left: position of water-sensitive paper on the outside, Center: position of water-sensitive paper on the inside, Right: view of attachment during implementation)

2. 測定方法

水分が付着すると、その付着部位の色が非可逆的に変化（黄色から青色に変化）する感水紙（P.IVA 03340510043, 52mm × 76mm, Sygenta 社, Switzerland,）を使用して実験を行った。感水紙は水分を含むと非可逆的に変化してしまうため、実験終了後はすみやかに新品の何も付着していない手袋を使用して水分の無い場所で感水紙を保管した。実験時の気温は約20～25℃、湿度は約40～60%であった。

実験①：フェイスシールドの内側（口部）に感水紙を貼り付け（図1a）、一人打ち込み（通常は2人で行う打ち込みを一人で行い、足の運び、姿勢、目線、重心移動などを体得するための練習）を50

回実施し、感水紙に付着した飛沫数を計測した。感水紙は、口の真ん中に感水紙が重なる位置とした。比較対照として、5分間会話をした場合、5分間テキスト（「走れメロス」太宰治著）を1分あたり約300語のスピードで朗読した場合の飛沫数も合わせて計測した。本実験は3名の被験者で行った。打ち込みの技に関しては、背負い投げ、または一本背負い投げとした。打ち込み時の掛け声の有無、マスク着用の有無で場合を分けて検証を行った。

実験②：フルフェイスヘルメットを装着し、外側に3枚（左右頬部、鼻部）、内側に2枚（鼻部、口部）の感水紙を貼り付け（図1b）、打ち込み50本ずつ、投げ込み20本ずつ、乱取り3分を行い、

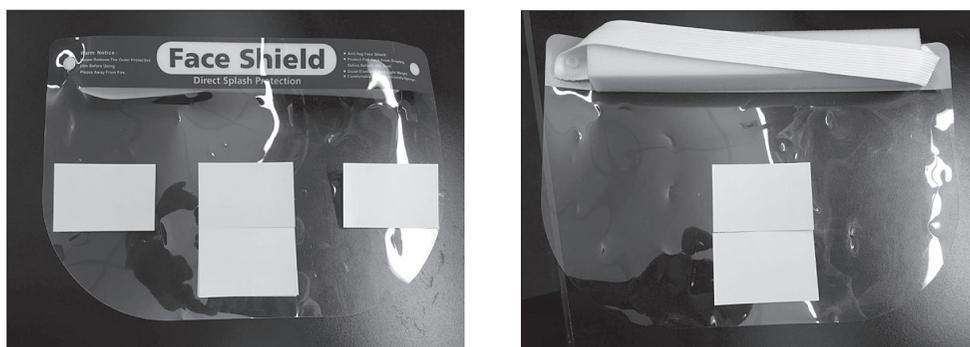


図1c フェイスシールドに感水紙を貼付 (左：外側の感水紙位置、右：内側の感水紙位置)
Fig. 1c Water-sensitive paper attached to a face shield (Left: position of water-sensitive paper on the outside, Right: position of water-sensitive paper on the inside)

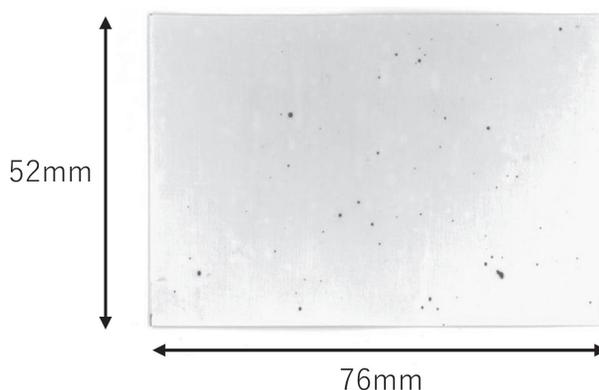


図1d 感水紙に付着した飛沫
Fig. 1d Splashes on water-sensitive paper

感水紙に付着した飛沫数を計測した。実験①と同様に、比較対照として、5分間会話をした場合、5分間テキストを朗読した場合の飛沫数も合わせて計測した。本実験は3名の被験者で行った。実際の練習と同様の飛沫量を計測するため、マスクは着用せずに実験を行った。

実験③：被験者の一人がフェイスシールドを装着し、外側に4枚（左右頬部、鼻部、口部）、内側に2枚（鼻部、口部）の感水紙を貼り付け（図1c）、打ち込みを50本ずつ、互に行った。本実験は5名の被験者で行い、すべての被験者が他の4名の被験者と順に組み合せて行き（ $5 \times 4 / 2 = 10$ 通りの組み合わせ）、マスクを着用せず打ち込みを行った。

3. 分析方法

スキャナー（ApeosPort-V C4476：FUJIFILM）を用いて600dots per inch（dpi）で感水紙の画像データを取得後、飛沫痕の沈着数を計測した（図1d）。感水紙1枚あたりの飛沫数を計算し、複数の感水紙を貼り付けた場合は1枚あたりの平均飛沫数を飛沫飛散量とした。また、自分から発せられる飛沫数と、相手が受け取る飛沫数における相関解析を行った。

4. 統計処理

感水紙1枚あたりの飛沫数を計算し、それぞれの群間比較において、全てのデータの正規性を確認後、Studentのt検定を用いて統計解析を行った。実験③において、自分から発せられる飛沫数と、相手が受け取る飛沫数との関係について、そ

柔道の練習における飛沫飛散の検討

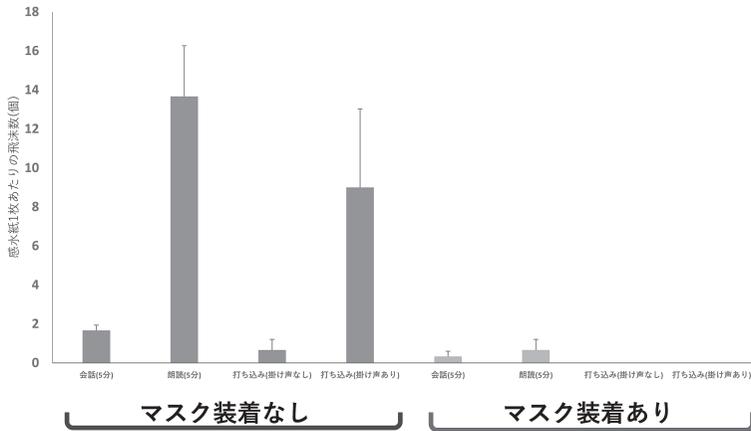


図2 感水紙1枚あたりの飛沫数
Fig. 2 Number of droplets per sheet of water-sensitive paper

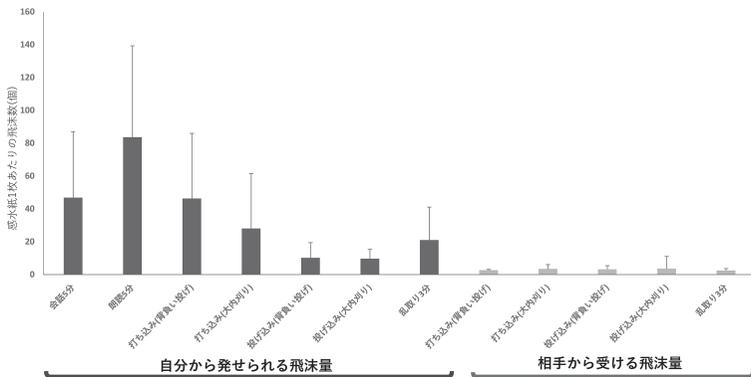


図3 感水紙1枚あたりの飛沫数
Fig. 3 Number of droplets per sheet of water-sensitive paper

れぞれを横軸、縦軸とした散布図を作成し、Spearman の順位相関係数を用いて相関について検討した。統計学的有意水準は $p < 0.05$ とした。

Ⅲ. 結果

実験①における結果を図2に示す。飛沫数が最も多かったのは5分間の朗読であり、続いて、掛け声ありの打ち込みであった。5分間の朗読における飛沫数よりも、掛け声なしの打ち込みのほうが飛沫数は少なかった ($p < 0.05$)。マスクを着用するといずれの場合においても飛沫数が抑えられ ($p < 0.05$)、打ち込みに関しては、掛け声の有無にかかわらず、飛沫は検出されなかった。

フルフェイスヘルメットの内側に貼り付けた感水紙の飛沫数は、「自分が飛散させた飛沫量」、外側に貼り付けた感水紙は、「相手から受け取った飛沫量」と考えることができる。実験②の結果を図3に示す。実験①と同様、5分間のテキストの朗読における飛沫数が最も多かった。練習内容に関しては、打ち込み、乱取り、投げ込みの順に飛沫数が多かった。打ち込みに関しては、背負い投げと大内刈りを比較したところ、飛沫数には差を認めなかった ($p = 0.595$)。投げ込みにおいても、技による相違はみられなかった ($p = 0.944$)。自分から発せられる飛沫数に対し、相手から受け取る飛沫数は有意に少なかった ($p < 0.05$)。

異なる相手と組み合せて練習する際の飛沫量の変化を検討するために実験③を行った。フェイス

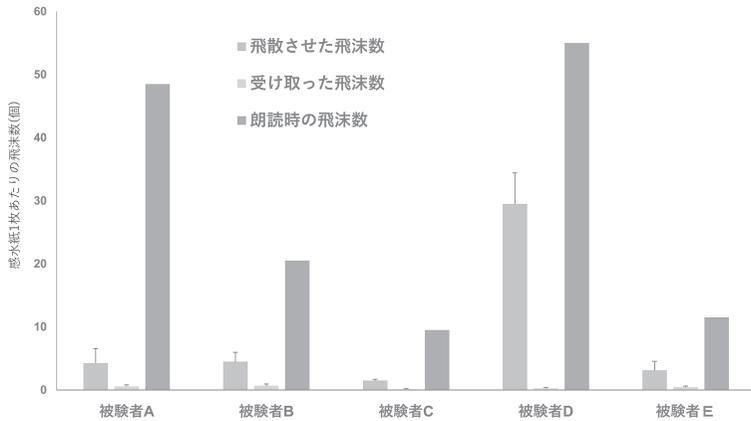


図4 被験者ごとの飛沫数（感水紙1枚あたりの飛沫数）
Fig. 4 Number of droplets per subject (number of droplets per sheet of water-sensitive paper)

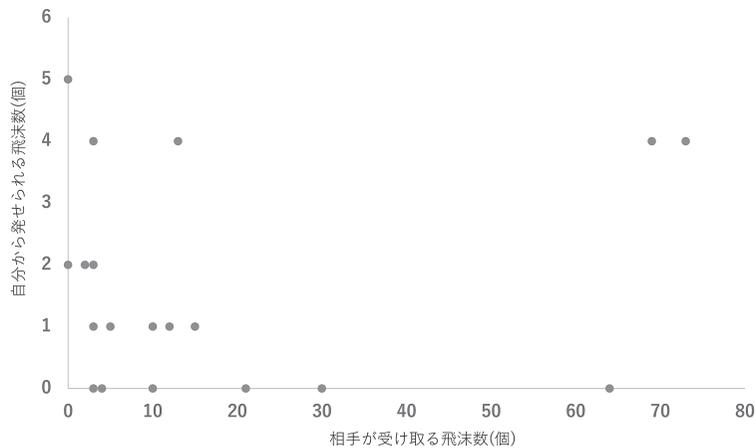


図5 自分から発せられる飛沫数（横軸）と相手が受け取る飛沫数（縦軸）の関連
Fig. 5 Relationship between the number of droplets emitted by oneself (horizontal axis) and the number of droplets received by the other party (vertical axis)

シールドの内側に貼り付けた感水紙の飛沫数は「自分が飛散させた飛沫量」、外側に貼り付けた感水紙の飛沫数は、「相手から受け取った飛沫量」と考えることができる。実験③において、それぞれの被験者ごとに自分が飛散させた飛沫数、相手から受け取った飛沫数を計算し、図4にまとめた。打ち込み時に多くの飛沫を飛散させた被験者は、朗読時においても飛散させる飛沫量が多い傾向にあった。受け取った飛沫数（飛沫数/感水紙1枚）を身長により層別化して検討すると、身長高値群（2.75、1.75）、身長中値群（2.25、1.00）、身長低値群（0.50）という結果であり、相手から受

け取る飛沫数は身長差の影響が少ない可能性が示唆された。

自分から発せられる飛沫数と、相手が受け取る飛沫数における相関については、図5のような結果となった。横軸に自分から発せられる飛沫数を、縦軸に相手から受け取る飛沫数をプロットした。図5の散布図から、両者の相関は議論できる状況にないと考えられ、両者の関連は低いものと考えられた。

IV. 考察

COVID-19感染対策においてマスク着用は重要である⁹⁾が、本研究の実験①より、マスク着用により飛散する飛沫数を大幅に減少させることができ、マスクの重要性を改めて示すことができた。一方で、スポーツ時におけるマスク着用は、深体温の上昇を招き、熱中症のリスクを上昇させる可能性がある¹⁰⁾ため、注意が必要である。実験①、②の結果からは、打ち込みや投げ込みにおいて一定の飛沫飛散はあるものの、会話や朗読と比較しても決して多くはないことが示唆された。また、相手から受け取る飛沫量に関しては、自分から発せられる飛沫数と比較して極端に少なかった。これらを合わせて考えると、マスクを着用せずに練習を行うことに多大な感染リスクがあるとは考えづらく、むしろ、柔道練習後に道場や更衣室で会話するほうが感染リスクを増大させると考えられる。感染リスクについては、相手との距離、接する時間等により左右されるが、マスクを着用せず、コロナウイルスのオミクロン株 (SARS-CoV-2 B.1.1.529系統) 感染者と1mの距離で5分間話した際の感染リスクは、約60%との理化学研究所のデータがある¹¹⁾。実験③では、被験者ごとに飛散させる飛沫数は大きく異なるという結果であった。ごく一部の人が「スーパーエミッター (排出者)」として、それ以外の人よりも多くの飛沫を飛散するという報告があり¹²⁾、体型や声の大きさ、呼吸の速さなどにより、同じ音量で話しても他者よりも多く飛沫を排出する人が存在することが知られているが、本実験結果においても、スーパーエミッターの存在を示唆する結果であった。一方で、飛沫数を多く発する被験者と打ち込みを行った場合でも、必ずしも受け取る飛沫量が多いわけではないことが示唆された。また、身長差がある相手と組み合わせる場合においても飛沫量が大きく変化することはなく、身長差が飛沫量に与える影響は少ないと考えられた。技に関しては、実験②の結果から、背負い投げのほうが大内刈りよりも自分か

ら発せられる飛沫量が多い一方で、相手から受け取る飛沫量に関しては、大内刈りのほうが背負い投げよりもわずかに多かった。このことから、相手と対峙する技のほうが、相手と対面になっている時間が長いと、飛沫を受けやすい可能性があると考えられた。

本研究における研究の限界として、まずは、本研究が少数例での検討である点が挙げられる。3名～5名と少数での評価となるので、今後は被験者の数を増やして検討を加えていく必要がある。実験②の打ち込みでは、背負い投げと大内刈りにおいて飛沫量は異なっていたが、有意水準を満たす差は検出できなかった ($p=0.595$)。実験②や③での身長差における検討に関しても、被験者の数が増えれば、身長による影響を検出できる可能性がある。また、実験で用いた感水紙について、理論的には、ごくわずかな液体の水でも反応するため、感水紙上では色変化が生じていても、スキヤナーの品質により色変化を検出できない、すなわち、検出限界が存在するものと考えられる。スキヤナーにおける dpi から計算すると、検出できる飛沫の検出限界が約 $40\mu\text{m}$ となる。ヒトが発する飛沫の大きさは直径約 $10\mu\text{m}$ と比較的大きなものが多く¹³⁾が、小さな飛沫に関しては検出できていない可能性がある。COVID-19感染においては、 $5\mu\text{m}$ 以下の小さな飛沫も重要であるとの指摘があり、本研究ではその評価はできていない。さらに、感染リスクを評価する際には、飛沫に含まれる生存ウイルス量を考慮する必要がある。すなわち、感水紙に付着した水滴の大きさにも考慮する必要がある。粒径が大きいものに必ずしも多くの生存ウイルスが含まれているわけではないが、今後は飛沫粒子径も考慮した解析を検討していきたい。感水紙に付着した飛沫に関しては、口腔内から発生する飛沫を捉えていると考えられるが、ヘルメットやフェイスシールドを装着することによる顔面部の汗も影響を与えている可能性がある。

V. まとめ

感水紙を用いて柔道の練習における飛沫飛散を計測し、マスク着用の有無、掛け声の有無、練習内容、組み合う相手の違いにおける飛沫量の変化について検討を行った。柔道の練習での飛沫飛散量は、5分間の会話や朗読より少なく、さらに相手の顔に飛散する飛沫量は自分から発せられる飛沫量と比較が少ない。以上より標準感染予防策を徹底することで柔道の練習はCOVID-19の感染リスクを上昇させない可能性が示唆された。柔道の練習においてもマスク着用は飛沫飛散量を減少させるため、感染の流行や練習メニューに応じて練習中に適宜マスクを着用することが推奨される。

謝辞

飛沫実験にご協力いただいた木田将量様・寺崎綾音様、実験場所（柔道場）を提供してくださった茗溪学園・講道館の関係者にこの場を借りて感謝申し上げます。

参考文献

- 1) Sayeeda Rahman, Maria Teresa Villagomez Montero, Kherie Rowe, Rita Kirton, Frank Kunik, Jr Epidemiology, pathogenesis, clinical presentations, diagnosis and treatment of COVID-19: a review of current evidence Expert Rev Clin Pharmacol. 1-21. 2021
- 2) Melika Lotfi, Michael R. Hamblin, Nima Rezaei COVID-19: Transmission, prevention, and potential therapeutic opportunities Clin Chim Acta. 508: 254-266. 2020
- 3) Stella Talic, Shivangi Shah, Holly Wild, Danijela Gasevic, Ashika Maharaj, Zanfina Ademi, Xue Li, Wei Xu, Ines Mesa-Eguiagaray, Jasmin Rostron, Evropi Theodoratou, Xiaomeng Zhang, Ashmika Motee, Danny Liew, Dragan Ilic Effectiveness of public health measures in reducing the incidence of covid-19, SARS-CoV-2 transmission, and covid-19 mortality: systematic review and meta-analysis BMJ. 375: e068302. 2021
- 4) Rosanna W Peeling, David L Heymann, Yik-Ying Teo, Patricia J Garcia Diagnostics for COVID-19: moving from pandemic response to control Lancet. 399(10326): 757-768. 2022
- 5) Naoki Sakuyama, Yasuo Mikami, Akira Ikumi, Naohisa Fujita, Shinji Nagahiro The Efficacy of Health Surveys and Polymerase Chain Reaction Tests Prior to Judo Tournaments During the COVID-19 Pandemic Cureus. 14(1). 2022
- 6) 「柔道練習・試合再開の指針 (V6) 2022.05.11」 [https://www.judo.or.jp/cms/wp-content/uploads/2022/05/新型コロナウイルス感染症対策と柔道練習・試合再開の指針 \(Version-6\)_20220511 \(マーカー入り\).pdf](https://www.judo.or.jp/cms/wp-content/uploads/2022/05/新型コロナウイルス感染症対策と柔道練習・試合再開の指針 (Version-6)_20220511 (マーカー入り).pdf) (Accessed Nov-7, 2022)
- 7) 「舞台芸術公演における新型コロナウイルス感染予防対策ガイドライン (第五版)」 https://jpasn.net/stage_guideline220722b.pdf (Accessed Nov-7, 2022)
- 8) Kuniyo Gomi, Masatsugu Nagahama, Erika Yoshida, Yuichi Takano, Yuichiro Kuroki, Yorimasa Yamamoto Peroral endoscopy during the COVID-19 pandemic: Efficacy of the acrylic box (Endo-Splash Protective (ESP) box) for preventing droplet transmission JGH Open. 4(6): 1224-1228. 2020
- 9) Jiao Wang, Lijun Pan, Song Tang, John S Ji, Xiaoming Shi Mask use during COVID-19: A risk adjusted strategy Environ Pollut. 266(Pt 1): 115099. 2020
- 10) Raymond J Roberge, Jung-Hyun Kim, Stacey M Benson Absence of consequential changes in physiological, thermal and subjective responses from wearing a surgical mask Respir Physiol Neurobiol. 15; 181(1): 29-35. 2012
- 11) 「室内環境におけるウイルス飛沫感染の予測とその対策」 <https://www.r-ccs.riken.jp/wp/wp-content/uploads/2022/02/220202tsubokura.pdf> (Accessed Nov-7, 2022)
- 12) Sima Asadi, Anthony S. Wexler, Christopher D. Cappa, Santiago Barreda, Nicole M. Bouvier, William D. Ristenpart Aerosol emission and superemission during human speech increase with voice loudness

Scientific Reports. 9(1): 2348. 2019

- 13) C.Y.H.Chao, M.P.Wan, L.Morawska, G.R.Johnson, Z.D.Ristovski, M.Hargreaves, K.Mengersen, S. Corbette, Y.Li, X.Xie, D.Katoshevski Characterization of expiration air jets and droplet size distributions immediately at the mouth opening Journal of Aerosol Science. 40(2): 122-133. 2009