

令和 4 年 5 月 12 日現在

機関番号：10103

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K11241

研究課題名（和文）高齢者の脱水状態を簡便に判定できる尿比重値判定グッズの量産化に向けた課題克服

研究課題名（英文）Overcoming the challenges of mass-producing urine specific gravity determination goods that can easily determine the dehydration status of the elderly

研究代表者

大平 勇一（OHIRA, Yuichi）

室蘭工業大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：00250522

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000 円

研究成果の概要（和文）：年齢を重ねると暑さに対して鈍感になってくる。自宅においても適切な水分摂取・空調による冷却がなされずに脱水状態となり、救急搬送される高齢者が多い。熱中症となる理由の一つとして、自分自身の水分状態がわからないことが挙げられる。研究代表者が保有する知見等を応用して、ポリプロピレン球、ステンレス棒、接着剤で比重調整した浮きを作製した。尿中での浮きの浮沈で脱水状態を判定できる。これまでの浮きは歩留まりが43%と低かったが、0.001mmまで測定できるマイクロメーターと0.01mgまで測定できる精密電子天秤を用いること、精密電子天秤の正確さの再検証で歩留まりを最大85%まで向上させることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

熱中症対策し死因として、こまめに水分を摂取すること、身体を冷やすことなどの指針が示されている。しかし、それでも熱中症で倒れる人が多い。この理由の一つとして、自分自身の水分状態がわからないことが挙げられる。高齢者が自身の水分状態を知る方法の一つとして、浮きの浮沈によって尿比重値を判定できるグッズがあれば熱中症による死傷者を減らすことができる。高齢者の健康管理だけでなく、スポーツや労働者の熱中症対策への波及も見込まれる。

研究成果の概要（英文）：As we get older, we become less sensitive to the heat. Even at home, many elderly people are transported by emergency because they are dehydrated without being properly cooled by water intake and air conditioning. One of the reasons for heat stroke is that you do not know your own water status. By applying the knowledge possessed by the principal investigator, we created a float whose specific gravity was adjusted with polypropylene balls, stainless steel rods, and adhesives. The dehydration state can be determined by the ups and downs of the float in urine.

The yield of the floats produced so far was as low as 43%. Yield can be increased by using a micrometer that can measure up to 0.001 mm and a precision electronic balance that can measure up to 0.01 mg. In addition, the yield could be improved by up to 85% by re-verifying the accuracy of the precision electronic balance.

研究分野：化学工学

キーワード：熱中症 尿比重 脱水

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

年齢を重ねると暑さに対して鈍感になってくる。そのため、自宅にいても適切な水分摂取・空調による冷却がなされずに脱水状態となり、救急搬送される高齢者が多い。特筆すべきはその時間帯で、夜間に搬送されている高齢者が多い。熱中症となる理由の一つとして、自分自身の水分状態がわからないことが挙げられる。スポーツ分野では尿比重値 1.020 以上を脱水状態としている。現在はデジタル尿比重計が用いられているが高価であり、普及が進んでいない。研究代表者は以前より運動時の発汗についても検討を行ってきた(森谷・大平, 2009)。一方で、研究代表者は微小重力環境下での水の動きを観察するため、ポリエチレン・銅・接着剤を組合せて比重 1.00 の球体を作製・使用した実績がある(大平ら, 1999)。これを応用して、2017 年 8 月より文化学園大学森谷准教授(スポーツ教育学)と東京オリンピック・パラオリンピックを目指すトライアスロン選手の脱水状態を安価で簡易に判定できるグッズの開発を共同で行っている。細かい数値まではわからなくても、安価で簡便に尿比重値がわかるグッズがあれば、脱水気味なのか否かを個人で判定・認識でき、熱中症による死傷者を減らすことに大きく貢献できると考えた。

現在、ポリプロピレン球、ステンレス棒、接着剤で比重調整した浮き(比重 1.020 ± 0.001)を作製し、尿中での浮きの浮沈で脱水状態を判定できる尿比重値判定グッズの開発を行っている。浮きの比重は次式で求めることができる。

$$(\text{浮き比重}) = \{(\text{浮きの質量}) / (\text{浮きの体積})\} / (4 \text{ の水の密度})$$

$$(\text{浮きの質量}) = (\text{ポリプロピレン球質量}) + (\text{接着剤質量}) + (\text{ステンレス棒質量})$$

これまでに 19.0 mm (体積 3.59 cm³) のポリプロピレン球に 3.0 mm の孔を開け、そこに接着剤約 0.05 g を塗布した後、浮きの質量が 3.660 ~ 3.667 g となるように質量を調整したステンレス棒を埋め込むことで浮きを試作した。デジタル尿比重計で測定される尿比重値は精度が ± 0.002 であるが、自動温度補正がなされる。一方、今回開発中の浮きは温度補正を自動でできない。ポリプロピレンの体膨張係数から温度による影響を加味すると、浮きの比重値が 1.020 ± 0.001 に収まればデジタル尿比重計と同等の精度となる。そこで、試作した浮き 100 個の比重を塩水で測定したところ、比重 1.015 ~ 1.026 となった。うち、比重 1.020 ± 0.001 となった浮きは 43 個であった。歩留まり 43% では、半分以上が不良品であり、量産とはいえない。歩留まりを向上させる必要がある。また、直径 19.0 mm が最適な大きさとは限らない。もう少し小さいポリプロピレン球で浮きを作製できれば、グッズの小型化が可能となり、携帯が容易になる。

1 つ目の課題である歩留まりを高くするためには、設計計算通りに切削加工・質量調整を行ったにもかかわらず、なぜ設計値とずれるのかを明らかにする必要がある。2 つ目の課題である携帯しやすくするためには、浮きのサイズを小さくする方法があるが、浮きのサイズを小さくするとより精密な切削加工・質量調整指針を確立する必要がある。

2. 研究の目的

本研究の第 1 の目的は浮きの比重値がなぜ設計値とずれるかを明らかにすることである。現時点で設計値に影響を及ぼす因子として、測定精度の低さと接着剤の固化に伴う質量変化が挙げられる。測定精度が低いとバラツキが大きくなる。接着剤の固化に伴う質量変化により設計よりも大きな比重値となる。バラツキを抑えるためには測定精度を向上させれば良い。ポリプロピレン球の直径、同質量、ステンレス棒の質量、接着剤質量の測定精度を現在よりも高精度に測定することで解決できる。現在は、直径測定に最小読み取り 0.05 mm のノギスを、質量測定には最小読み取り値 0.1 mg の電子天びんを用いている。誤差の伝播法則に従って計測誤差の影響を試算すると、設計目標の比重値に対して ± 0.008 の伝播誤差が含まれる。設計目標を比重 1.020 とすると、現状では比重 1.012 ~ 1.028 に分布することになる。この範囲は 100 個試作した結果と概ね一致する。これを、最小読み取り 0.001 mm のマイクロメーターと最小読み取り 0.01 mg の精密電子天秤を用いることで、比重値に及ぼす伝播誤差を ± 0.0001 まで下げることができる。小数第 3 位まで規定した浮き製作が目的であるため、小数第 4 位まで伝播誤差を減らすことができれば、計算上では設計通りの比重値を持つ浮きをバラツキなく製作できる。設計よりも比重値が大きくなる問題については、接着剤の特性を検討する必要がある。現在使用している接着剤はポリプロピレンと金属を接着できる唯一の市販品であり、変更ができない。固化する際に空気中の水分を吸うため、塗布量が多くなると固化後の質量増加が大きくなる。2019 年度は接着剤塗布量の影響を明らかにすることを目的とする。

$$(\text{浮きの質量}) = (\text{PP 球質量}) + (\text{接着剤質量} + \text{吸収水分}) + (\text{ステンレス棒質量})$$

本研究の第 2 の目標は浮きを小型化して携帯しやすくするため、ポリプロピレン球の直径を小さくした場合の切削・浮き作製方法を確立することである。2020 年度以降は直径 15.9 mm、12.7 mm のポリプロピレン球を用いた場合について設計・製作法の確立を目的とする。しかし、直径 19.0 mm の場合が体積 3.59 cm³ であるのに対して直径 12.7 mm の場合は体積が 1.07 cm³ と 1/3 以下になる。比重 1.020 ± 0.001 とするにはポリプロピレン球・ステンレス棒・接着剤の合計質量を 1.093 ~ 1.095 g にする必要があり、特にステンレス SUS303 の質量調整が難しくなる。

これらの検討によって、尿比重値判定グッズの量産化を加速し、高齢者の熱中症対策に使用す

る。なお、尿比重値判定グッズは高齢者だけでなく、アスリートや労働者をはじめとする一般公衆の熱中症対策や夏期以外の脱水対策にも用いることができる。スポーツ分野では日本トライアスロン連合、北海道ポート協会が試作で比重 1.020 ± 0.001 となった浮きを用いた尿比重値判定グッズを用いて、実際の尿で尿比重値判定を行いながら使い勝手や不具合確認を行う耐久試験に協力してくれている（本学のヒトに関する研究倫理委員会で承認済み）。労働分野では北海道労働局関係者が第13次労働災害防止計画の実現に向けたグッズとして興味を示している。また、教育分野では、ボーイスカウト・ガールスカウトの地区リーダーが、夏期の暑熱下における子供たちの活動を安全に行うためのグッズとして関心を寄せている。熱中症は誰でもなる可能性があるため、量産化に向けて加速することは高齢者の熱中症対策だけでなく、今後の日本の活力向上につながる。熱中症は日本国内だけで問題になっているわけではない。国外でも同様の課題を抱えている国・地域がある。量産化できれば本成果の波及効果は極めて大きい。

3. 研究の方法

本研究の最終目標は「製作した浮きの歩留まりを向上させること」、「浮きを小さくすることで携帯しやすくすること」の2つである。これを実現するために、次の2点を検討する。

接着剤塗布量の影響

浮きの小型化にともなう設計・製作法の確立

2019年度は接着剤塗布量の影響を明らかにする。接着剤を空気中で固化させる。このとき、質量をあらかじめ測定しておき、空気中の水分を吸収して質量がどのように変化するかを測定する。測定結果をもとに、接着剤1gあたりの水分吸収量を求める。これができることで、浮きの最終質量を予測できるようになる。これで歩留まりが大幅に向上すると予想される。

実施にあたり、0.01mgまで測定できる高精度分析天秤を購入する必要がある。また、現在ノギス（最小読み取り0.05mm）でポリプロピレン球の直径を測定しているため、マイクロメーター（最小読み取り0.001mm）を購入する。より正確にポリプロピレン球の直径を測定し、体積を求めるためである。浮きを作製するため、ポリプロピレン球、ステンレス SUS303、接着剤を購入する。ポリプロピレン球に孔を開ける切削加工は本学ものづくり基盤センター所有の旋盤を用いる。旋盤を購入する必要はないが、加工費が必要となる。他に、浮きの比重値測定に塩水を使用するため、その調製に必要な塩化ナトリウムやピーカー類を購入する。塩分計は現有のものを使用する。塩水の温度を一定に維持するため、恒温水槽を購入する必要がある。

2020年度以降は直径19.0mmよりも小さいポリプロピレン球を用いて浮きを設計・製作する。具体的には、直径19.0mmで確立した設計・製作法をもとに、直径15.9mmや直径12.7mmのポリプロピレン球で浮きを製作する。直径が小さくなることで体積が小さくなるため、製作時の精度が要求される。前年に得られた接着剤の水分吸収量を加味した設計を行い、高い歩留りで浮きの製作が可能になると思われる。以上の結果から、浮きの小型化が可能となり、携帯しやすくなる。

4. 研究成果

ポリプロピレン球、ステンレス棒、接着剤で比重調整した浮きを作製するにあたり、製作した浮きの比重値が設計値よりも大きくなる現象は、浮きの質量が大きくなる、もしくは、浮きの体積が小さくなる、のいずれかで起こる。質量が変化する因子としては、接着剤が考えられる。また、体積が変化する因子としてはポリプロピレン球の直径（体積）変化が考えられる。

2019年度は接着剤塗布量の影響を検討した。質量をあらかじめ測定しておいた接着剤を空気中で固化させ、空気中の水分を吸収して質量がどのように変化するかを測定した。その結果、接着剤の固化に伴い質量が減少する傾向が確認された。また、その質量減少量は湿度の影響を受けることを明らかにした。しかし、接着剤の質量変化は比重値に影響を及ぼすほど大きくないことが明らかとなった。当初計画では、2019年度はここまで進める予定であった。しかし、得られた知見をもとに比重値が設計値からずれる原因が浮きの体積にあることがわかったため、浮き体積の変化について検討を進めた。浮きを作製する際、ポリプロピレン球に穴をあける。このとき万力で挟む。これによってポリプロピレン球の直径変化が変化することがわかった。その変化は0.01mmオーダーであり、マイクロメーター（最小読み取り長さ0.001mm）を使用しないと測定できないオーダーである。従来使用していたノギス（最小読み取り長さ0.05mm）ではわからなかった現象である。

試作を通じて得られた知見をもとに比重値が設計値からずれる原因が浮きの体積にあることがわかったため、2020年度は浮き体積の変化について検討を進めた。浮きを作製する際、ポリプロピレン球に穴をあける。このとき万力で挟む。最小読み取り長さ0.001mmのマイクロメーターで測定することによってポリプロピレン球の直径変化が変化することがわかった。この直径変化を考慮することで浮きの歩留まりが43%から63%に向上した。2020年度はさらなる歩留まり向上を目的として電子天秤の正確さの再確認を行った。1gの分銅で検証を行ったところ1.0004gであった。わずか0.0004gではあるが天秤の値が基準とした分銅の質量からずれており、浮きの比重値に悪影響を及ぼしていることがわかった。これを補正することで歩留まりはさらに向上し、81%となった。

2021年度は直径19.0mmよりも小さいポリプロピレン球を用いて浮きを設計・製作した。具体的には、直径19.0mmで確立した設計・製作法をもとに、直径12.7mmのポリプロピレン球で浮き

を製作した。直径が小さくなることで体積が小さくなるため、製作時の精度が今まで以上に要求される。これまでに得られた知見を加味して比重 1.015, 1.020, 1.025 の浮きの設計・製作を行った。比重 1.015 は以前から直径 12.7mm のポリプロピレン球で設計・製作していたため、歩留まりは前年度と同等以上の 85%であった。一方、比重 1.020, 1.025 の浮きについては歩留まりがそれぞれ 58%、33%であった。歩留まりが低下した理由は現時点で検討中であるが、最初に 10 個程度の浮きを作製し、その比重値と設計比重値との差を明らかにした上でその差を補正して浮きを作製することで歩留まりを上げることが可能であると考えられる。

<引用文献>

- ・森谷直樹, 大平勇一; 屋内バイクトレーニング時のトライアスリートの発汗量と体表面温度の測定, 室蘭工業大学紀要, 58, 125-134 (2009)
- ・大平勇一, 佐近恒生, 空閑良壽, 小幡英二, 安藤公二; 微小重力環境用バイオリアクターの通気動力低減を目的とした撥水面上での空気層の形成, 化学工学論文集, 33, 463-467 (2007)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 大平勇一、森谷直樹
2. 発表標題 浮きを用いた尿比重の簡易判定
3. 学会等名 第10回JTUトライアスロン・パラトライアスロン研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大平勇一、森谷直樹
2. 発表標題 暑熱環境での熱中症予防を目的とした尿比重値判定グッズの開発
3. 学会等名 化学工学会第85年会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>地域企業と室蘭工業大学との交流会(2021年9月)にて本研究成果の一部を紹介したところ、関心を示した企業・行政機関が関心を示したため、情報交換を行っている。また、製作した浮きで設計値通りとなったものについて成果有体物提供契約を結んだ上で、トライアスロン連合、北海道ボート協会に提供した。強化指定選手を含む合宿等において実際に尿比重値判定に浮きを使用してもらい、改善点について貴重な意見をいただいた。</p>
--

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------