

REHSE「高校生による環境安全とリスクに関する自主研究活動支援事業」

## 2022年度 研究活動報告書

### 高吸水性ポリマーの幼児による誤飲事故に対する 開腹手術回避の方法の提案

岐阜県立岐阜高等学校自然科学部化学班  
平野凜太郎 恒川友里愛 原康晟 棚橋輝 日比駿 佐田穂花

#### 1. 研究背景

高吸水性高分子(Super Absorbent Polymer : SAP)は多量の水を吸収し保持することができる。これまでの研究から、電離したポリアクリル酸ナトリウムの $\text{Na}^+$ と、水溶液中の陽イオンの一部が吸収の前後で交換されることがわかった。また、1価陽イオンを含む溶液に比べ2価陽イオンを含む溶液では吸収量が極端に低下した。

#### 2. 研究目的・意義

研究を進める中で、幼児がSAPを誤飲し十二指腸で腸閉塞を起こす事例を目にすることがあった<sup>1)</sup>。このような事例の一般的な対処方法は開腹手術であるが、体への負担が大きい。そこで上記の性質を利用して、小児がSAPを誤飲した際に2価陽イオンを含んだサプリメントを摂取することで、SAPを排泄できる大きさまで収縮させることができるのではないかと考えた。本研究の対象は幼児の誤飲であるため、幼児が手に取りやすいものとして、玩具や消臭剤など7種類の市販のSAP及び、SAPに溶液を吸収させた製品（図1）を使用することとした。



図1 左からSAP大・ぷるぷるボール・ジェルポリマー・消臭剤緑・消臭剤紫・消臭剤無色・消臭剤青

#### 3. 胃液中でのSAPの膨潤

##### 3-1. 研究方法

小児がSAPを誤飲し、胃液中でSAPが膨潤した場合、胃の幽門(直径2.0 cm)を通過できるのか調べることを目的として実験を行った。7種類のSAPを日本薬局方<sup>2)</sup>に基づいて調製した模擬胃液(以下胃液とする)に浸して浸潤前後の変化を調べた。浸潤時間を胃での平均消化時間の約2時間に合わせ、胃液にSAPを2時間浸した後の直径と質量を測定し、表1にまとめた。

表1 胃液に浸した後のそれぞれのSAPの直径と質量

胃液	SAP大	ぷるぷるボール	ジェルポリマー	消臭剤緑	消臭剤紫	消臭剤無色	消臭剤青
直径[cm]	1.94	0.46	0.74	1.22	1.17	0.90	1.01
質量[g]	2.47	0.05	0.25	0.79	0.83	0.36	0.48

### 3-2. 結果・考察

表1から、胃液中ではいずれのSAPも直径が2.0 cm以上にならないため胃の幽門を通過することができる。これは、胃液の主成分であるHClから電離した大量のH<sup>+</sup>によってSAPの吸収が阻害されたことによると考えられる。

## 4. SAPの誤飲事故の対処方法の提案

### 4-1. 研究方法

腸液中で膨潤したSAPに2価陽イオンを加えることで収縮させることを試みた。腸溶性製剤は胃などのpHの低い環境下では溶解せず、小腸下部から大腸までの区間で効果を発揮する。代表的な30種類の腸溶製剤について調べてみると、いずれも長径は0.85~0.95 cmであった。よってSAPを誤飲したとしても、腸液中での直径が0.95 cm以下であれば自然に排泄されると考える。そこで今回の実験では、SAPを直径0.95 cm以下まで収縮させることを目的とした。

今回の実験では入手のしやすさから、2価陽イオンはMg<sup>2+</sup>を用いることとした。Mgは腸管で吸収されるため、十二指腸より前で吸収されることはなく、Mgは経口摂取した分SAPに届くと考える<sup>[1]</sup>。腸液200 mLにMgCl<sub>2</sub>水溶液0.10 mol/Lを100 mL加えたところ白色沈殿が生じてしまったため、沈殿が生じない最大限量を調べた。その結果からMgCl<sub>2</sub>水溶液0.050 mol/Lの100 mLを腸液に加えることとした。この白色沈殿はMgCl<sub>2</sub>が腸液に含まれるKH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>と反応して生じた、水に難溶性のMg<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>だと考える。また市販のサプリメントの摂取目安量から物質量を求めたところ、いずれのサプリメントでもMg0.0050 molを摂取できることが分かった。

SAPを胃液に浸しても腸液中でのSAPの直径には影響を与えないことが分かっているため、腸液での実験をする際に事前に胃液に浸す必要はないと考える。SAPの誤飲事故に関する報告書によると、SAPを誤飲した場合に症状が出て医療機関を受診するまでが2日であった。実験では、まず日本薬局方<sup>[2]</sup>に基づいて調製した模擬腸液(以下腸液とする)200 mLにSAPを2日間浸けて直径を測定した。その後MgCl<sub>2</sub>水溶液0.050 mol/Lの100 mLを腸液に加えて1時間後、2時間後、1日後、2日後に直径を測定した。その結果を図2に示す。

### 4-2. 結果・考察

図2より浸潤前のSAP(SAP大及びぷるぷるボール)を腸液に入れると著しく直径が大きくなったことが分かる。腸液はpH約6.8であるのに対して胃液のpHは約1.2であり、胃液に比べて腸液の方が溶液中の陽イオンの影響が少なくなったためだと考える。

MgCl<sub>2</sub>水溶液を加えた際に、いずれのSAPも直径が減少した。SAP大、消臭剤無色、紫は直径が0.95 cmよりも小さく収縮させることはできなかった。これに対してその他のSAPの直径は著しく低下し、いずれも直径は0.95 cm未満になった。十分に収縮させることができなかった理由は、MgCl<sub>2</sub>水溶液により白色沈殿が生じない最大限量のMgを加えたが、その量は収縮させるには不十分であったと考えられる。

また、SAP大とぷるぷるボール以外は膨潤した状態

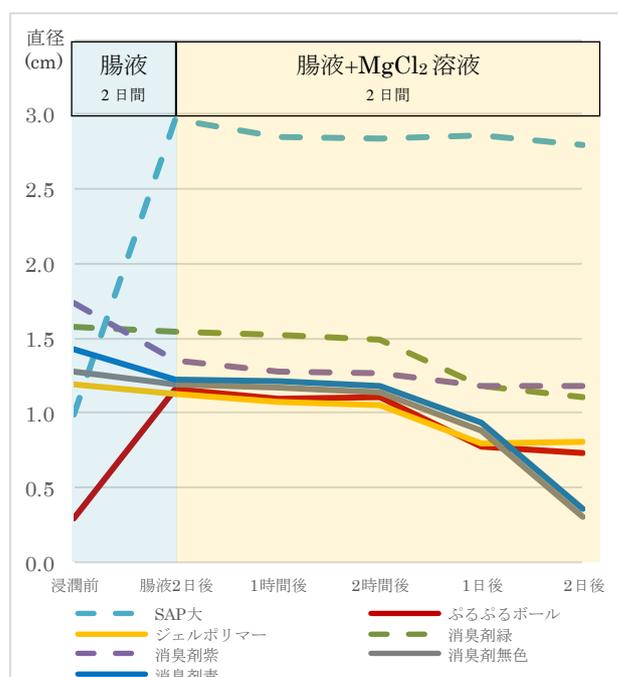


図2 Mgを加える前後での直径の変化

で販売されているため、膨潤前の状態における SAP の直径は SAP 大>消臭剤緑>紫>青>無色>ジェルポリマー>ぷるぷるボールとなると考える。

SAP の陽イオンの交換は SAP の表面付近で行われる。そのため SAP が大きくなるほど、SAP の中心部では陽イオンの交換に時間を要する。一方でぷるぷるボールのように直径が小さい SAP は、陽イオンの交換が速く収縮しやすい。よって SAP 大・消臭剤紫・無色より直径が小さい SAP の方が収縮したと考えられる。

## 5. 結論及び今後の展望

SAP を胃液に入れたところ、直径が 2.0 cm 以下となりいずれの SAP も胃の幽門を通過できることが分かった。SAP を誤飲した際、SAP は腸へ移動すると腸液中で著しく膨潤することが分かった。また、腸液中で膨潤した SAP 大・消臭剤緑・紫に Mg を加えて収縮させることを試みたが、0.95 cm よりも小さくすることはできなかった。しかし、直径が小さいそのほかの SAP について同様の実験を行ったところ、直径が急激に低下し、0.95 cm 未満まで収縮させることができた。

小児における Mg の耐容上限量は 5.0 mg/kg 体重/日であるため、体重が 24 kg 以上であれば必要な量の Mg を摂取できるといえる<sup>[1]</sup>。以上から、体重が 24 kg 以上の幼児が SAP を誤飲した際にサプリメントを摂取することは、腸液中での直径が 1.2 cm 以下になる SAP に関して、開腹手術を回避する方法として有効であると考えられる。また、膨潤時に 1.3 cm を超える SAP は、我々の行った方法では収縮しないため、市販の SAP では、膨潤時の直径を 1.2 cm 以下に制限することも必要ではないかと考える。

今回の実験で得られたグラフを用いることで、SAP を誤飲した際に十二指腸閉塞を起こす可能性を予測することも可能だと考える。また SAP の誤飲は幼児だけでなく認知症患者にも起こりうる。成人においては Mg 摂取量の耐容上限量が 350 mg/日であるため<sup>[1]</sup>、収縮に必要な量の Mg を摂取でき、幼児と同様に今回提案する方法で排泄を促すことが可能だと考える。

一方で今回調製した腸液では、その主成分である  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  と  $\text{MgCl}_2$  が反応して沈殿を生じたため、SAP の収縮に利用できる溶液中の Mg の物質量が減少してしまった。しかし実際の腸液の主成分は  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  ではなく組成がかなり異なっているため、沈殿が生じることはないと考えられる。今後はより実際に近い模擬腸液を調製し、SAP を 0.95 cm 以下まで収縮させることができるかを検証したい。さらに、吸収特性の異なる SAP について同様の実験を行い、誤飲が起きても排泄されやすい、より安全な SAP を提案していきたい。また、加える Mg の物質量を少なくし、より体重が少ない小児においても効果が見られるのか検証したい。

## 6. 参考文献・引用文献

[1]日小外会誌第 53 巻 1 号 2017 年 2 月 P.100~104

高吸水性樹脂による十二指腸閉塞の 1 小児例

[2]胃液を想定した模擬液：「日本薬局方」による崩壊試験第 1 液

(塩化ナトリウム 2.0 g を塩酸 7.0 mL および水に溶かして 1,000 mL としたもの、pH 約 1.2)。腸液を想定した模擬液：同書による崩壊試験第 2 液 (0.20 mol/L リン酸二水素カリウム試液 250 mL に 0.2 mol/L 水酸化ナトリウム試液 118 mL および水を加えて 1,000 mL としたもの、pH 約 6.8)。

腸液を想定した模擬液：「日本薬局方」による崩壊試験第 2 液 (0.2 mol/L リン酸二水素カリウム試液 250 mL に 0.20 mol/L 水酸化ナトリウム試液 118 mL および水を加えて 1,000 mL としたもの、pH 約 6.8)。

[3]「日本人の食事摂取量基準(2020 年版)」策定検討会報告書

[4]独立行政法人国民生活センター 報道発表資料 平成 27 年 10 月 1 日

## 7.「環境安全とリスク」に関する意見と感想

これまでも継続して研究対象としてきた SAP が、文献調査で乳幼児の誤飲事故の報告があることが分かった。SAP の吸水特性についての新たな知見が、実用に繋がるよう水溶液の硬度測定などを提案してきた。今回は乳幼児の誤飲事故に対する方法の提案となり、実現すれば人命救助に繋がるためやりがいは大きい。しかし、医療行為として実現するためには様々なハードルがあり、高校での研究を超えてしまうと考える。今後も、高校生としてできる範囲で新しいデータを蓄積していきたい。