

乳幼児小型乾電池誤飲事故による傷害および合併症の治療に関する研究

分担研究者 浅井 聡（日本大学医学部・薬理学教室）

研究協力者 吉川 琢磨（日本大学医学部・耳鼻咽喉科学教室）

研究要旨

近年の技術進歩により、起電力の強い小型乾電池が汎用されるようになり、乳幼児の誤飲事故が増加している。誤飲後、電池が食道狭窄部に停留した場合、小型電池の停留時間や停留部位によっては、数時間後に重症化し、死亡例も報告されていることから、乳幼児による小型乾電池の誤飲事故は社会的問題になっている。我々は、麻酔下のウサギの食道に人工的に小型乾電池を留置し実験的に食道潰瘍を作成し、この障害モデルを用いて、小型電池起電力の違いや停留時間による食道潰瘍の病態やその合併症の進行具合など、より詳細な病態生理について検討を行った。その結果、乾電池誤飲早期（約 4 時間）より組織障害が発生し、電池の陰極に発生するアルカリが障害の中心であり、停留電池陰極側からのアルカリの産生が合併症の主な原因であることを明らかにした。本研究により、電池による食道異物除去後の経過観察の重要性と初期治療の必要性が示唆された。

【研究目的】

近年の技術進歩により、起電力の強いディスク型小型乾電池が汎用されるようになり、乳幼児の誤飲事故が増加している。誤飲後、電池が食道狭窄部に停留した場合、内視鏡により外来で摘出術を受け帰宅しても、停留していた時間や部位によっては、数時間後に重症化し、再度高次機能病院に搬送される例も散見され、死亡例も報告されている。しかしながら、小型乾電池摘出後の食

道潰瘍の病態および合併症に至る病態生理学的検討、さらに応急処置も含めた治療法などについては、明確に確立されていないのが現状である。我々は、実験動物にディスク型小型電池異物による食道潰瘍を作成し、電池起電力の違いや停留時間による合併症の進行具合など、より詳細な病態生理、治療法を考案検討し、実際の医療現場に即した障害進行を抑制する治療方法の確立を目的とし研究を行った。

【研究方法】

日本白色種のウサギに 40%ウレタン麻酔した。小児用マッキントッシュ型喉頭鏡にて喉頭展開し、食道入口部を明視下におき、小型リチウム電池(3V)をウサギの門歯より約 11cm のところに相当する頸部食道に電池を挿入した。コントロールとして、リチウム電池を 100 の抵抗にて約 100 時間放電させ 0 V, 0 mA であることを確認したディスク型電池の陰極を気管側に向けて挿入した。3V の新品のリチウム電池を一枚、陰極を気管側に向けて挿入した群と陽極を気管側に向けて挿入した群に分けて実験した。各々、挿入後、3, 9, 27 時間後に多量のウレタンを追加投与し、実験のために供した。頸部を切開し、食道、気管を露出し、pH メーターにて、食道の電池接着部、電池非接着部、気管の各組織の pH を速やかに測定した。組織標本作製のために開胸し、大動脈弓起始部にカテーテルを挿入し、下行大動脈を結紮し、ヘパリン入りの生理食塩水で 5 分間洗浄した後、ホルマリン緩衝液で 30 分灌流固定したものを H-E 染色した。電池は挿入前と摘出後にそれぞれ、電圧、電流を測定した。

【結果】

電池の起電力、電流については、新品の 3.19 V、126 mA (n=8) の電池が 3 時間の実験後には 2.8 V、51 mA (n=4) となり 9 時間の実験後には 2.46 V 46 mA (n=8) と低下していた。起電力(V)、電流(mA)ともに時間の経過により低下した。(Fig1)

pH については陰極を気管側に向けて挿入した群の 3 時間の群では食道の陰極側接触部は pH 10.99 (n=4) を示し、陽極側接触部は pH 4.26 (n=4) を示しており、電池非接触部位である食道粘膜は pH6.79 (n=4) であった。9 時間の群では陰極側接触部は pH10.93 (n=8) を示し、陽極側接触部は

pH 3.84 (n=8) を示しており、電池非接触部位である食道粘膜は pH 5.48 (n=8) であった。気管内腔の正常部位の pH は 7.20 (n=8) であるのに対して気管黒変部の pH は、3 時間では 6.60 (n=4) であったが、9 時間では食道と同様に 9.80 (n=8) を示しアルカリを呈していた。一方、反対に陽極を気管側に向けて挿入した群の pH も同様に食道の陽極側接触部は pH3.50 (n = 4) と酸性にシフトしており、陰極側接触部は pH11.35 (n=4) とアルカリにシフトしており、同様の結果が得られた。気管は pH7.0 (n=4) であり異常が認められなかった (Fig2)。

肉眼所見

コントロール群；コントロールとしての 0 ボルト、0 アンペアに放電させた電池を 27 時間食道入口部に留置したが肉眼上組織の変色、変性は見られず、組織学的にも異常を認めなかった。pH については食道の電池陰極側接触部も陽極側接触部も正常粘膜側も気管内腔も pH7.4~7.6 であり、場所による変化は見られなかった。

3 ボルト群；肉眼所見では陰極を気管側に向けて挿入した群の 3 時間の所見でも、食道は陽極側接触部の粘膜は菲薄化し軽度赤色を呈しており、また食道の陰極側接触部の粘膜は黒変し深緑色の沈着物を認め、そこに接している気管壁膜様部の黒変も認めた。9 時間では同様かつより強い障害を認め、深緑色の沈着物の増加を認めた。反対に陽極を気管側に向けて挿入した群の所見は同様に、食道の陽極側接触部の粘膜は菲薄化し軽度赤色を呈しており、そこに接している気管壁膜様部の異常所見は見られなかった。また食道の陰極側接触部の粘膜は黒変し深緑色の沈着物を認め、そこに接している椎前筋膜部の黒変も認めた。9 時間では同様かつより強い障害を認め、深緑色の沈着物の増加を認めた (Fig3)。

組織病理所見 (Table1) は、食道の陽極側接触部は、粘膜上皮の剥離、脱落を認め coaguration necrosis の所見が見られた。粘膜下組織、食道腺の破壊を認め、また筋層までの炎症細胞浸潤を認めた。食道の陰極側接触部も、粘膜上皮の剥離、脱落と、粘膜下組織、食道腺の破壊を認め、一部解離した粘膜上皮層内を主体とした茶褐色の物質の沈着 (brown precipitate) を認め、fat saponification, liquefaction necrosis の所見が見られた。また筋層までの炎症細胞浸潤と気管膜様部への炎症細胞浸潤、組織壊死 (tissue necrosis) を認めた。

【考察】

近年、ディスク型乾電池の小型化に伴い高性能なリチウム電池が汎用され乳幼児が誤飲してしまう事故が増えている。乳幼児がディスク型電池を誤嚥した場合、食物の通過しない非嚥下時はその内腔が互いに接しているという生理的特性と、胃に入るまでに三カ所に狭窄部がある解剖学的特性のため、電池の大きさによっては蠕動運動でも動かず、食道に嵌頓してしまう場合がある。不幸にして一カ所に停滞し、狭いところで接触したまま動かないと、食道潰瘍をきたし重篤な合併症を併発すると言われている。特にリチウム電池は、従来のアルカリ電池と比べて、起電力が大きくまた長時間安定した電流が供給できる能力を備えている。近年の技術力の進歩に伴い、従来よりも強い障害が起こりうるので注意を要する。

今回我々の行った実験で、27時間起電力のない電池を留置しても、粘膜組織に大きな障害は認められなかったことから、電池による組織のうっ血、壊死などの組織圧迫の影響はないと考えられた。

生体内ではリチウム電池は以下の反応が起こりうる。

陽極反応； 陽極反応； $\text{Cl}^- \rightarrow \text{Cl} + \text{e}^-$, $2\text{Cl}^- \rightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{e}^-$

Cl_2

クロールイオンが存在しクロール分子となり、体液中の H_2O が加わると OH^- , H^+ が出現し NaCl と反応し、 HCl を産生すると考えられる。

陰極反応； $\text{H}_2\text{O} + \text{e}^- \rightarrow \text{H} + \text{OH}^-$, $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$, $\text{Na}^+ + \text{OH}^- \rightarrow \text{NaOH}$

発生した電子 (e^-) が水素イオンと結合し水素分子 (H_2) を形成し気体となりガスの発生をおこす。残りの水酸イオン (OH^-) は体液中の NaCl と反応して NaOH が出現すると考えられる。従って、陽極側では酸の産生が、陰極側ではアルカリの産生がありうると考えられる。

肉眼的に、陰極側は、気管壁にも黒変が認められる。組織学的に食道の陽極側接触部と陰極側接触部を比較すると、陰極側のみ粘膜上皮に茶褐色の沈着物を認めることと、脂肪組織の変性 (fat saponification) と、粘膜上皮の液化変性 (liquefaction necrosis) を認め、陽極側は粘膜上皮の層状の剥離、脱落を認めるため、陰極側と陽極側では別の反応を起こしていることが確認された。陰極側の所見はアルカリによる皮膚障害の組織所見と同様であり、アルカリによる食道粘膜障害と考えられる。また、陽極側の所見も酸の皮膚障害の組織所見と同様であり酸による食道粘膜障害と考えられる。3時間と9時間を比較すると障害の程度が大きく進んでおり、また3ボルト群と6ボルト群で比較しても障害の程度が大きく進んでいた。気管への浸潤は時間と電力が増す程、強くなっており比較しても膜様部への破壊、浸潤の程度が進んでいたと考えられる。(Data not shown)

以上の結果より、電流、電圧により二次的に酸、アルカリによる組織障害が増すことが実験的にも組織学的にも確認された。つまり食道粘膜は電池の異物を摘出しな限り電流が流れ続け、電池をはさんで酸とアルカリという全く正反対の状態にさらさ

れる特殊な病態が起こっていると考えられるのである。従来報告の分類上は低電圧火傷の機序の範疇に含まれると考えられてきたが、厳密に言えば直接の電流の作用ではなく、低電圧火傷という言葉は適切な用語ではなく、通電により二次的に引き起こされた陽極、陰極での化学反応が原因として最も考えられる。

さらに問題となるのは、電池の陰極がどちらかを向いているかということである。我々の実験結果から考察すると、電池を摘出しても、その後症状が進行している症例が多く認められ、電流ではなく二次的に産生された酸、アルカリが粘膜に残っていることにより引き起こされていると考えられる。特にアルカリは、組織への浸透度も高いため摘出後にも症状を進行させることが十分に考えられる。症例としては乳幼児が殆どであり、摘出術後の洗浄を十分にできないことと、部位的に気管に誤嚥を来しやすいこともあり、積極的な治療としての洗浄ができないということが、合併症を防ぎきれない原因と考えられる。

【結論】

電池の誤飲による食道粘膜障害は、持続的に流れる電流により二次的に陽極と陰極に各々別の化学反応が起こり、それぞれに産生された酸とアルカリによるものと考えられる。今後は、アルカリ残留による進行性の合併症の病態解析と、その早期予防および治療法の確立が肝要と考えられる。

【研究発表】

Yoshikawa T., Asai S., Takekawa Y., Kida A., Ishikawa K., Experimental investigation of battery-induced esophageal burn injury in rabbits. Critical Care Medicine. 1997, 25. (2039-2044)

吉川 琢磨, 生井 明浩, 池田 稔, 木田 亮紀, リチウム電池食道異物の一症例と実

験的研究, 日本耳鼻咽喉科学会雑誌, 1997, 100. (864-869)

1

2

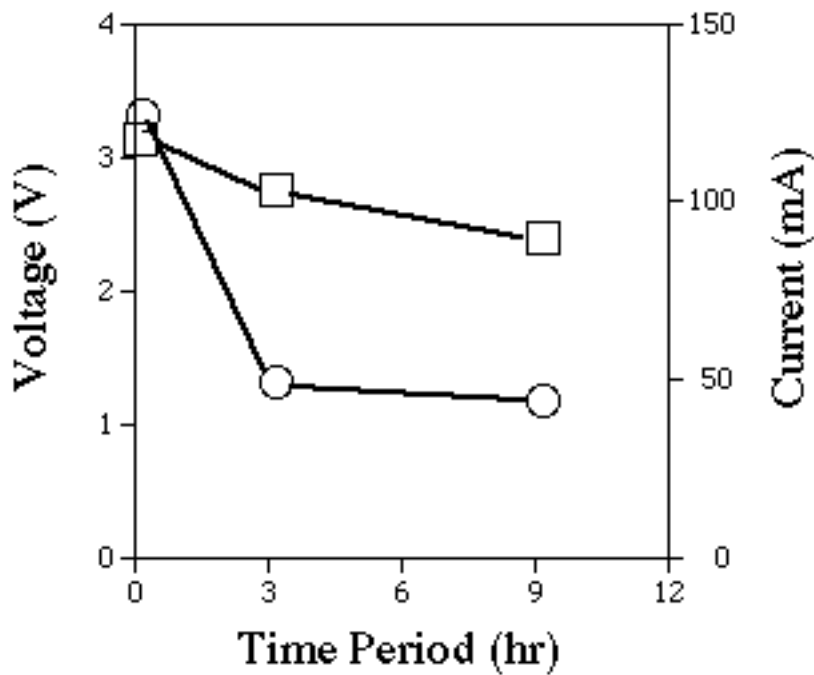


Fig. 1 乾電池挿入後3時間、9時間後の起電力 V (□)、電流 mA (○) の変化。

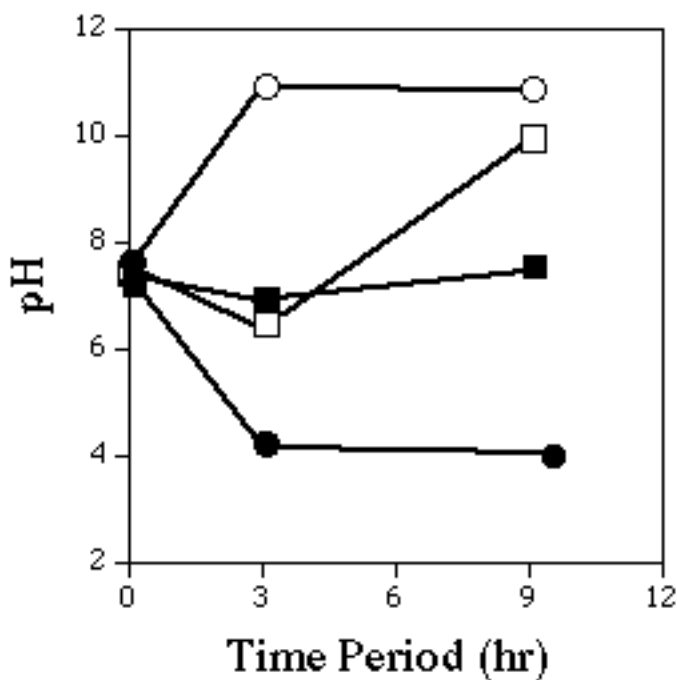


Fig. 2 電池挿入時の極性も向きによる食道粘膜及び、気管内側のpHの変化。電池挿入後3時間で食道粘膜の陰性側(○)はアルカリ性になり、陽性側(●)は、酸性になった。9時間後では、気管内側へのpHの浸潤変化は、陽性(酸性)(■)では、著変は認められなかったが、陰性(アルカリ)(□)は、変化を認めた。

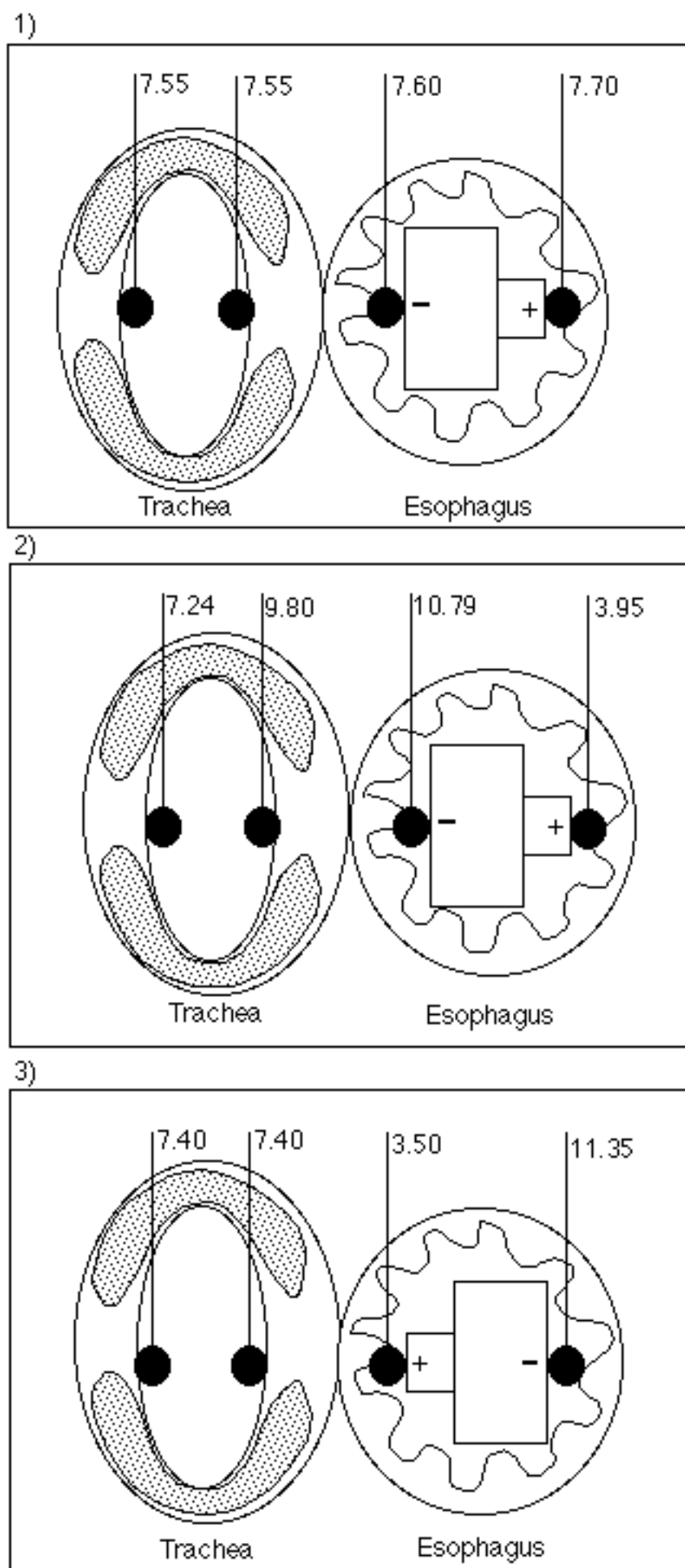


Fig. 3 電池挿入9時間後の食道粘膜および気管内壁のpHの変動。
 1) 完全放電 (0 V)、2) 新品電池 (3 V) の陰極を気管方向に向けて挿入。
 3) 新品電池 (3 V) の陽極を気管方向に向けて挿入。

Table 1. Summary of histological changes in battery acid and alkaline induced tissue damage. Anode site macroscopic and microscopic injuries were similar to those produced by acid. Cathode site macroscopic and microscopic changes were similar to those seen with alkaline injury.

	mucosal color	surface appearance	mucosal abrasion	inflammatory invasion	coagulation necrosis	liquefaction necrosis	fat saponification	pH
acid	red	erythematous	mild	shallow (inner layer)	+	-	-	↓
alkaline	black	brown	severe	deep	-	+	+	↑