

職業性氫氟酸中毒認定參考指引

中華民國 105 年 11 月修正

編修者：王肇齡醫師

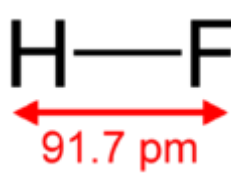
一、導論

氫氟酸(Hydrogen Fluoride, HF), 亦名氟化氫, 俗稱氟酸, 於 18 世紀(1720 年)由英國玻璃工人第一次製造出來。19 世紀末、20 世紀初被用來蝕刻玻璃, 於 1931 年商業製造生產, 用於製造烷化反應之觸媒, 在一般工業上則用於除污、除銹、蝕刻、酸洗等。

氫氟酸沸點 19.5°C , 濃度若為 40~48% 以上時, 會產生自發性冒煙。解離度是鹽酸的千分之一, 由於解離度低, 非離子狀態多, 易穿透組織, 吸收入人體解離成 H^+ 及 F^- , 而 F^- 無法代謝, 並會和體內陽離子結合。進入人體之氫氟酸, 50% 由小便排出, 6~10% 由大便排出, 12~23% 由汗液排出。

氫氟酸可導致因工作上接觸產生灼傷, 嚴重更產生低血鈣而致命。若得不到有效的治療而疼痛依舊, 甚至截肢、死亡。因此, 氫氟酸的診斷指引及相對的處理, 有賴於醫療相關人員正確診斷及緊急處理患者, 進而減少醫療上對病人造成的延誤。⁽¹⁻³⁾

表一、氟化氫的物化性質

			
IUPAC 名稱	Hydrogen fluoride		
CAS 編號	7664-39-3	密度	0.818 g/L
分子式	HF	水中溶解度	全溶
分子量	20.006 g/mol	蒸氣壓	30.753 mmHg
1 大氣壓常溫狀態(25°C) 下：		蒸氣密度	0.99 (空氣=1)
熔點	-83.38°C	半衰期	無資料
沸點	19.54°C		

二、具潛在暴露之職業

氫氟酸在工業上使用廣泛，舉凡蝕刻、去污、除銹、清洗等作業使用機會大，包含下列各類作業⁽³⁻⁵⁾：

- (一)釀造業為清洗、控制發酵。
- (二)陶瓷加工中蝕刻、上釉。
- (三)鑄造業和珠寶製造之去砂。
- (四)半導體工業及玻璃製造之蝕刻、刨光。
- (五)洗衣店及紡織中去銹斑、污斑。
- (六)皮革製造之鞣皮。
- (七)金屬和石料之清洗、酸洗、刨光。
- (八)推進劑、溶劑製造。
- (九)農業用殺蟲劑、肥料製造。
- (十)鋁工業中氧化鋁製造和還原。
- (十一)原子能工業之同位素純化。
- (十二)藥物染料、氟氯碳化物製造。
- (十三)高辛烷值汽油的製造。

鐵氟龍(不沾鍋)熱解亦會產生氟化氫。要注意的是家用去污劑或學校實驗室亦可能使用到氫氟酸。接觸原因包括不明瞭其危害性，直接以手接觸，其他如手套破漏、防護裝備有缺失、設備故障造成外洩、操作不慎等。

三、醫學評估與鑑別診斷

氫氟酸對人體的傷害，可分為皮膚、呼吸道、眼部及消化道。而氫氟酸中毒，緊急處置很重要，若未處理，皮膚損傷、水泡、出血、深部潰瘍、疤痕形成、肌腱鞘炎、骨質溶解、喪失手指甚至死亡等併發症都可能發生⁽⁶⁻⁸⁾。氫氟酸的濃度、暴露時間、暴露部位、延遲治療及解毒劑的使用都會影響治療的效果⁽⁹⁾。以下根據身體受影響的各部位介紹其中毒症狀：

(一)醫學評估

1. 急性暴露

(1)皮膚

皮膚接觸是氫氟酸傷害個案中最多的(約佔 70%)，尤其是手部。皮膚接觸後初期變化為紅、腫、熱、痛。中期可產生皮膚腫脹，混濁乳酪樣水泡，末期則致潰瘍、組織壞死。氫氟酸濃度與皮膚症狀發作時間有關，濃度 50% 以上立即產生疼痛發紅，20-50% 之氫氟酸可能 1-8 小時後才發生症狀。20% 以下則可能晚至 24 小時後才開始出現症狀，病人本身皮膚角質厚薄亦有影響，較厚者症狀出現時間較晚⁽⁸⁾。

氫氟酸接觸後引發的疼痛非常劇烈難忍(猶如燙傷或鐵鎚擊打般)，主要是由於氫氟酸的解離度只有鹽酸的千分之一，因此極易以非離子狀態穿透表皮到深部軟組織，解離後之氟離子與組織中鈣離子結合，鈣離子逐漸耗盡後，局部神經細胞釋出鉀(K)離子，造成神經之強烈刺激^(3-5, 10-14)。當氟離子接觸到骨頭，會導致骨頭去鈣化及壞死⁽¹⁵⁾，在某些死亡案例，心肌存有高濃度之氟離子，而造成心肌損傷^(16, 17)。

氟離子除了跟鈣離子結合外，亦可直接活化組織中的 adenylyate cyclase，造成心肌中 cAMP 增加，導致心肌的過激性及可能的頑抗性心律不整⁽¹⁸⁾。氟離子有兩種方式可造成高血鉀；

第一種為去活化細胞的鈉/鉀 ATP(adenosine triphosphate)酶幫浦(導致細胞內鈉離子堆積及細胞外鉀離子堆積)。第二種方式為氟離子可活化鈉/鈣離子交換幫浦，造成細胞內鈣離子堆積，引發依賴鈣離子的鉀離子通道，導致鉀離子流出細胞⁽¹⁹⁾。由於氟離子結合鈣的結果形成血中鈣的下降，血鈣降低可能造成心律不整、心跳休止及抽搐等嚴重症狀，甚至致死。

根據國外文獻，接觸濃度 50% 以上氫氟酸，體表面積 1% 或任何濃度 5% 以上，吸入或食入高濃度之氫氟酸都可能造成低血鈣。氫氟酸中毒病人典型的心電圖變化包含寬的 QRS 波及延長的 QT 間隔⁽²⁰⁾。大量的鈣離子減少會導致凝血疾病，出血就是一種常見的併發症⁽²¹⁾。所以在處理氫氟酸灼傷個案不能光憑灼傷之嚴重程度，必需了解其全身毒性作用，尤其低濃度造成表皮傷口不明顯時，只要有暴露時，都應該做適當處置，以免延誤。⁽²²⁻²⁴⁾

(2) 皮膚灼傷

治療方式包含沖水、局部藥膏塗抹、皮下注射、動靜脈脈灌注中和劑、手術清創及支持療法，治療流程圖可參考表 2。

(3) 吸入性傷害

氫氟酸沸點 19.5°C 且其水溶液可釋放煙塵及有刺激性氣味。吸入一定的量會導致發燒、寒顫、胸悶、肺水腫及出血，有些個案會產生氣喘甚至死亡⁽²⁶⁾。因此工作環境中的濃度需小於 3ppm。濃度越高(>60%)，更可能造成吸入性損傷，但低濃度亦可能造成(<10%)。對於疑似吸入性損傷的個案，須先將個案移離現場，立即送醫並給予純氧，嚴重的個案甚至要考慮插管，另外需進行臨床症狀及實驗室檢查，胸部 X 光、電腦斷層及支氣管鏡檢查可提供更多證據。

(4)食入性傷害

消化道受傷的情況很少見。症狀包含噁心、嘔吐及腹痛，常常會快速惡化⁽²⁷⁾。意外食入會造成出血，甚至消化道穿孔及全身毒性。可建議個案飲用大量的水及牛奶，若在醫院則給予 10% 的葡萄糖酸鈣溶液洗胃。

(5)眼睛傷害

可能短時間即導致角膜混濁及壞死、結膜水腫、缺血。長期併發症包含反覆性角膜糜爛、角膜結膜硬化等⁽⁷⁾。眼睛暴露後立即用清水及等張食鹽水沖洗至少 30 分鐘，然後每 2-3 小時給予 2 滴 1% 的葡萄糖酸鈣眼藥水⁽²⁸⁻³¹⁾。需照會眼科進行後續的評估及處置。

(6)全身性傷害

因為氟離子可擴散至組織內或被血液吸收，故須提供全身性的支持療法。系統性毒性包含低血鈣、低血鎂、高血鉀、酸中毒，導致心、肝、腎受影響。低血鈣的情形最常見，故監測血鈣及心電圖均為必要。

表二 氫氟酸中毒的主要症狀及急救措施^(7, 8, 15, 32)

種類	症狀	急救措施
皮膚灼傷	紅、腫、白色的表面、水泡含壞死性組織、潰瘍、全層組織喪失	將傷患從污染源移除，大量清水沖洗、敷 2.5% 的葡萄糖酸鈣軟膏或皮下注射、靜脈/動脈灌注甚至手術切除
吸入性傷害	紅腫及上呼吸道阻塞、上皮壞死、無法控制的支氣管出血及阻塞、氣管支氣管炎、肺炎、肺水腫、部分或全肺塌陷	立即轉送醫學中心、將病患從污染源移除、呼吸道支持、吸入性葡萄糖酸鈣溶液、支氣管鏡檢查、輸血
食入性傷害	口腔灼傷、噁心、吞嚥困難、嘔血、出血性胃炎、小腸水腫、解黑便、出血性胰臟炎、肝細胞腫脹	喝水、牛奶、胃灌洗(10% 葡萄糖酸鈣溶液)
眼睛傷害	刺激性、立即疼痛、結膜炎、眼球震顫、瞳孔放大、角膜結痂、角膜糜爛	用水或等張食鹽水灌洗約 30 分鐘，接著再使用葡萄糖酸鈣眼藥水，照會眼科醫師
指甲傷害	指甲周遭皮膚潰爛及潰瘍	若病患有指甲下疼痛或指甲周邊組織受影響，可能需拔除指甲。將葡萄糖酸鈣敷到甲床上
全身性傷害	<p>心血管系統：心室性心律不整、QT 延長、心室心搏過速、心室震顫、低血壓、心肌受傷、心衰竭</p> <p>腎臟系統：血尿、蛋白尿、氮血症、腎功能不全、腎皮質壞死</p> <p>中樞神經系統：意識混亂、頭痛、癲癇、僵直、麻木感、昏迷</p> <p>肌肉骨骼系統：骨頭脫鈣化及腐蝕、肌肉無力、橫紋肌溶解、骨質溶解</p>	立即轉送至醫學中心，根據嚴重度安排系統性支持療法、血液透析或加護病房觀察治療

2. 慢性暴露

慢性氫氟酸暴露則可能造成系統性氟中毒，初期表現在骨密度之增加，後期可能變成骨硬化症(Osteosclerosis)。其他如噁心、嘔吐、厭食、瀉痢或便秘、呼吸困難、肢體僵硬、倦怠、頭痛等，亦在慢性氟中毒中出現。⁽³³⁾

(二)鑑別診斷

1. 由於氫氟酸之解離度是鹽酸的千分之一，其穿透力強，因此初接觸時皮膚常較完整，此點可和其他強酸、強鹼所致灼傷做區別，而其劇痛更是難忍。
2. 氯氣、氨氣、二氧化氮、光氣等刺激性氣體接觸人體所產生之呼吸道症狀與氫氟酸雖無明顯差別，但可由工作暴露之調查及各種氣體的特性來辨別(氯氣為黃綠色，高濃度的二氧化氮為黃或紅棕色，氨氣則氣味特殊呈白霧狀)。
3. 光氣需在特殊環境或作業中才存在。因此由工作暴露之調查應可與其他刺激性氣體做區分。
4. 嚴重之氫氟酸中毒會導致血鈣下降，亦可作為鑑別診斷的重要依據。

四、流行病學證據

接觸氫氟酸以急性傷害表現為主，所以在流行病學的資料都屬個案報告，台北榮民總醫院毒物中心報告 1985 至 1997 年間國內受傷案例，以半導體業 56 人佔 77.8% 為最主要行業，其他依序為化工業、清潔業。中毒個案有 2 位因低血鈣死亡⁽⁵⁾。而國內氫氟酸中毒單一事件受傷人數最多案例發生在南部煉油廠氫氟酸外洩，有 46 人受波及。手部接觸的案例則以北部某變壓器工廠，23 人因使用氫氟酸當除銹劑而受傷，前者人數雖多，但因氣體飛散濃度不高且走避得宜，受傷程度較輕，而後者卻直接使用，在 15 分鐘至 3 小時內全部送醫，情況較嚴重^(4, 14)。因此在流行病學證據而言，只要有接觸氫氟酸都會產生輕重程度不等的傷害。

1991 年至 2010 年在國內追蹤調查研究顯示，324 位氫氟酸中毒個案，84%都是皮膚暴露所致；職業性因素導致中毒佔 80%，其中 61%是半導體業、15%是清潔業、13%是化學或金屬業、剩下 11%為其他行業；電解質不平衡情形不常見，低血鈣、低血鎂、低血鉀分別佔 8.6%、1.2%及 1.5%；大部分皮膚暴露的個案(64%)接受了解毒劑，解毒劑包含了浸泡葡萄糖酸鈣 calcium gluconate(49.8%)、靜脈注射鈣離子(20.6%)及局部使用葡萄糖酸鈣軟膏(13.9%)。20 位病人(7%)接受手術；氫氟酸暴露後，大部分的病患有輕度(56.5%)或中度(36.7%)的毒性反應，4 位病患嚴重中毒，2 位病患死於氫氟酸導致的心律不整及休克⁽³⁴⁾。美國毒物管制中心 2010 年度報告顯示，當年度 646 位氫氟酸中毒的個案中，有 376 位是因為除鏽及清洗輪胎導致，超過 2/3 的個案需要接受治療，其中有 1 位死亡⁽³⁵⁾。

五、暴露證據收集方法

- (一)由工作史、工作環境及製程評估，可與氫氟酸使用行業對照。
- (二)暴露物質之安全資料表可提供可靠的訊息。
- (三)直接化驗可疑之接觸物質及其濃度(國內氟化氫八小時日時量平均容許濃度為 3ppm)。

六、結論

氫氟酸中毒認定基準，依其急性、慢性的臨床表徵，分為主要及輔助基準，主要基準是診斷職業病之必要條件，輔助基準則非屬必要條件，但若有輔助條件之證據，則更強烈的支持氫氟酸中毒之診斷。以下列出氫氟酸中毒之主要及輔助條件：

(一)急性中毒

1. 主要基準

- (1)符合暴露後再有傷害發生的時序性。
- (2)皮膚、眼睛、呼吸道之刺激或灼傷。
- (3)具有氫氟酸暴露之證據。
- (4)排除其他刺激性化學物導致症狀之可能。

2. 輔助基準

- (1)皮膚起初完好，繼而劇痛難忍。
- (2)血鈣降低或心電圖 QT 間隔延長。

(二)慢性暴露導致氫氟酸中毒

1. 主要基準

- (1)骨骼密度增加及骨骼硬化。
- (2)具有長期(至少 1 年)氫氟酸暴露之證據。
- (3)排除其他骨骼硬化或氟中毒之可能原因。

2. 輔助基準：尿中氟高於 9 mg/L 以上。

七、參考文獻

1. Caravati, E. M. (1988). Acute hydrofluoric acid exposure. *The American journal of emergency medicine*, 6(2), 143-150.
2. Adams, R. M. (1990). Occupational skin disease. In *Occupational skin disease*. WB Saunders Company, 18-21.
3. Sullivan, J.B. KG.(1992) Hydrofluoric acid.Hazardous Material Toxicology. 1st ed ed: Williams & Wilkins,Baltimore, 785-790.
4. 何啟功, 賴春生, 張震揚, & 林上河. (1997). 高雄地區職業性氫氟酸灼傷五年案例彙整. *The Kaohsiung Journal of Medical Sciences*, 13(6), 400-406.
5. 林盈秀, 楊振昌, 葛謹, & 鄧昭芳. (1998). 氫氟酸中毒-毒藥物諮詢中心之個案分析. *中華職業醫學雜誌*, 5(4), 211-218.
6. Chela, A., Reig, R., Sanz, P., Huguet, E., & Corbella, J. (1989). Death due to hydrofluoric acid. *The American journal of forensic medicine and pathology*, 10(1), 47-48.
7. Kirkpatrick, J. J. R., Enion, D. S., & Burd, D. A. R. (1995). Hydrofluoric acid burns: a review. *Burns*, 21(7), 483-493.
8. Strausburg, M., Travers, J., & Mousdicas, N. (2012). Hydrofluoric acid exposure: a case report and review on the clinical presentation and management. *Dermatitis*, 23(5), 231-236.
9. Graudins, A., Burns, M. J., & Aaron, C. K. (1997). Regional intravenous infusion of calcium gluconate for hydrofluoric acid burns of the upper extremity. *Annals of emergency medicine*, 30(5), 604-607.
10. Shewmake, S. W., & Anderson, B. G. (1979). Hydrofluoric acid burns: a report of a case and review of the literature. *Archives of dermatology*, 115(5), 593-596.
11. McCulley, J. P., Whiting, D. W., Petitt, M. G., & Lauber, S. E. (1983).

- Hydrofluoric acid burns of the eye. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 25(6), 447-450.
12. Litovitz, T. L., Schmitz, B. F., Matyunas, N., & Martin, T. G. (1988). 1987 annual report of the American Association of Poison Control Centers national data collection system. *The American journal of emergency medicine*, 6(5), 479-515.
 13. El Saadi, M. S., Hall, A. H., Hall, P. K., Riggs, B. S., Augenstein, W. L., & Rumack, B. H. (1989). Hydrofluoric acid dermal exposure. *Veterinary and human toxicology*, 31(3), 243-247.
 14. 楊振昌, 楊冠洋, & 鄧昭芳. (1996). 氫氟酸集體中毒事件報告. *中華職業醫學雜誌*, 3(1), 1-8.
 15. Özcan, M., Allahbeickaraghi, A., & Dündar, M. (2012). Possible hazardous effects of hydrofluoric acid and recommendations for treatment approach: a review. *Clinical oral investigations*, 16(1), 15-23.
 16. Greendyke, R. M., & Hodge, H. C. (1964). ACCIDENTAL DEATH DUE TO HYDROFLUORIC ACID. *Journal of forensic sciences*, 9(3), 383.
 17. Mayer, T. G., & Gross, P. L. (1985). Fatal systemic fluorosis due to hydrofluoric acid burns. *Annals of emergency medicine*, 14(2), 149-153.
 18. Bordelon, B. M., Saffle, J. R., & Morris, S. E. (1993). Systemic fluoride toxicity in a child with hydrofluoric acid burns: case report. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*, 34(3), 437-439.
 19. Wu, M. L., Deng, J. F., & Fan, J. S. (2010). Survival after hypocalcemia, hypomagnesemia, hypokalemia and cardiac arrest following mild hydrofluoric acid burn. *Clinical Toxicology*, 48(9), 953-955.
 20. Holstege, C., Baer, A., & Brady, W. J. (2005). The electrocardiographic toxidrome: the ECG presentation of hydrofluoric acid ingestion. *The American journal of emergency medicine*, 23(2), 171-176.

21. Takase, I., Kono, K., Tamura, A., Nishio, H., Dote, T., & Suzuki, K. (2004). Fatality due to acute fluoride poisoning in the workplace. *Legal medicine*, 6(3), 197-200.
22. Tepperman, P. B. (1980). Fatality due to acute systemic fluoride poisoning following a hydrofluoric acid skin burn. *Journal of occupational medicine.: official publication of the Industrial Medical Association*, 22(10), 691-692.
23. Mullett, T., Zoeller, T., Bingham, H., Pepine, C. J., Prida, X. E., Castenholz, R., & Kirby, R. (1986). Fatal hydrofluoric acid cutaneous exposure with refractory ventricular fibrillation. *The Journal of burn care & rehabilitation*, 8(3), 216-219.
24. Anderson, W. J., & Anderson, J. R. (1988). Hydrofluoric acid burns of the hand: mechanism of injury and treatment. *The Journal of hand surgery*, 13(1), 52-57.
25. Wang, X., Zhang, Y., Ni, L., You, C., Ye, C., Jiang, R., ... & Han, C. (2014). A review of treatment strategies for hydrofluoric acid burns: Current status and future prospects. *Burns*, 40(8), 1447-1457.
26. Tsonis, L., Hantsch-Bardsley, C., & Gamelli, R. L. (2008). Hydrofluoric acid inhalation injury. *Journal of burn care & research*, 29(5), 852-855.
27. Whiteley, P. M., & Aks, S. E. (2010). Case files of the Toxikon Consortium in Chicago: survival after intentional ingestion of hydrofluoric acid. *Journal of Medical Toxicology*, 6(3), 349-354.
28. Bentur, Y., Tannenbaum, S., Yaffe, Y., & Halpert, M. (1993). The role of calcium gluconate in the treatment of hydrofluoric acid eye burn. *Annals of emergency medicine*, 22(9), 1488-1490.
29. Beiran, I., Miller, B., & Bentur, Y. (1997). The efficacy of calcium gluconate in ocular hydrofluoric acid burns. *Human & experimental toxicology*, 16(4), 223-228.

30. Hatzifotis, M., Williams, A., Muller, M., & Pegg, S. (2004). Hydrofluoric acid burns. *Burns*, 30(2), 156-159.
31. Chau, J. P., Lee, D. T., & Lo, S. H. (2012). A systematic review of methods of eye irrigation for adults and children with ocular chemical burns. *Worldviews on Evidence-Based Nursing*, 9(3), 129-138.
32. Makarovsky, I., Markel, G., Dushnitsky, T., & Eisenkraft, A. (2008). Hydrogen fluoride--the protoplasmic poison. *The Israel Medical Association journal: IMAJ*, 10(5), 381-385.
33. Greco, R. J., Hartford, C. E., HAITH Jr, L. I. N. W. O. O. D., & Patton, M. L. (1988). Hydrofluoric acid-induced hypocalcemia. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*, 28(11), 1593-1596.
34. Wu, M. L., Yang, C. C., Ger, J., Tsai, W. J., & Deng, J. F. (2014). Acute hydrofluoric acid exposure reported to Taiwan Poison Control Center, 1991–2010. *Human & experimental toxicology*, 33(5), 449-454.
35. Bronstein, A. C., Spyker, D. A., Cantilena, L. R., Green, J. L., Rumack, B. H., & Dart, R. C. (2011). 2010 Annual Report of the American Association of Poison Control Centers' National Poison Data System (NPDS): 28th Annual Report. *Clinical Toxicology*, 49(10), 910-941.