

זיהוי טביעות אצבעות על נייר בשיטה חדשנית*

שרינה ויזנר**

המאמר מוקדש לפניה הר שושנים, המורה שלי אכיליה בליכון שהחזירה ז' אל אהבה המקצוע.

שונה במבנהו הטופוגרפי מהעור בשאר חלקי הגוף. עור זה בנוי בצורת רכסים בולטים שבהם נקוביות (pores) של זיעה. מבנה מיוחד זה של עור הידיים והרגליים מיועד לסייע באחיזה של חפצים ע"י יצירת חיכוך גדול יותר בין היד (או הרגל) לבין החפץ. הרכסים מתפצלים, נקטעים ומתחברים כך שהרצף המתקבל אצל כל אדם, בכל אצבע, הוא ייחודי. צורת הרכסים נוצרת על כפות ידי העובר ורגליו כבר בחודש הרביעי של ההיריון ואינה משתנה עד להתפוררות הגוף לאחר המוות.

כבר לפני שנים רבות אמרו חכמינו: "ידיים עסקניות הן". ואכן הידיים נוגעות תדיר בשאר חלקי הגוף, כגון במצח ובשערות וכן בחפצים שסביבנו, ומזהמות מהם. כך, בזמן המגע בחפצים משאירות הידיים על החפץ "חומר" המורכב מזיעת הידיים בשילוב עם זיהומים ממקומות אחרים שבהם הידיים נגעו לפני כן - בעיקר זיעה משאר איברי הגוף, אך גם זיהומים חיצוניים. מכיון שהרכסים הם החלקים הבולטים ביד, ומאחר שעליהם ממוקמות נקוביות הזיעה, הרי הסימנים שיישאירו על החפצים כתוצאה מהמגע בהם, יהיו סמויים וצורתם כצורת הרכסים בטביעות האצבע והידיים. עובדה זו בשילוב עם ייחודיות הרכסים של כל אדם וקביעותם לאורך כל החיים, הם שהופכים את טביעות האצבע לכלי כל כך חשוב בפיענוח פשעים.

ההרכב הכימי של טביעת האצבע

טביעת אצבע היא תערובת מורכבת של הפרשות טבעיות וזיהומים חיצוניים שיכולים להשתנות ממקרה למקרה ובד"כ אין מזהים אותם. ההפרשות הטבעיות

בתאריך ל' בתשרי תשס"ב 17/10/01 נרצח ביריות השר רחבעם זאבי (גנדי) בדרכו לחדר שבו שהה במלון "היאט" בירושלים. מיד לאחר הרצח החלה חקירה משטרתית במטרה לחשוף את זהות הרוצחים. התברר שבאחד מחדרי המלון השתכן בלילה שלפני הרצח אורח בעל חזות ערבית, אשר הזדהה בתעודת זהות לא-לו, ונעלם בבוקר ההתנקשות. צוותים של המחלקה לזיהוי פלילי חיפשו ראיות במלון, ואחד הצוותים התמקד בחדר זה. בין היתר נמצאו בחדר קבלה על תשלום דמי החדר וכן עיתון של יום האתמוול, ואלו נשלחו לבדיקה במעבדה לפיתוח טביעות אצבע. במעבדה טופלו הקבלה והעיתון בעזרת 1,2-אינדאן-דיאון, ריאגנט חדש לפיתוח טביעות אצבע על נייר שפותח במחקר משותף של אוניברסיטת פנסילבניה ומז"פ (המחלקה לזיהוי פלילי במשטרת ישראל). על העיתון והקבלה התפתחו טביעות אצבע של קרעאן חמיד, תושב אל-בירה ועבריין רכוש. גילוי זה קידם באופן משמעותי את החקירה שבסופה נחשפו גם שאר המעורבים ברצח.

כאשר נשאל האדם הממוצע מה המשטחים שעליהם ניתן למצוא טביעות אצבע, התשובה הנפוצה היא זכוכית ומשטחים מבריקים ולא דווקא נייר; זאת מפני שעל משטחים אלו ניתן לראות את טביעות האצבע גם ללא טיפול נוסף. למרות זאת, נייר הוא מצע מצוי לשימור טביעות אצבע, וכדי להבין מדוע, יש להבין ראשית מה היא טביעת אצבע וכיצד היא נוצרת.

מהי טביעת אצבע?

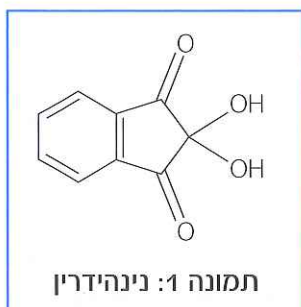
העור של כפות הידיים, של האצבעות ושל כפות הרגליים

* מאמר זה מבוסס על עבודת ה-M.Sc של שרינה ויזנר. בהנחיית פרופ' יוסף אלמוג ופרופ' יואל ששון.
** רפ"ק שרינה ויזנר, מעבדת סימנים וחומרים, מז"פ, משטרת ישראל.

הן נודדות בנייר עקב קשרי המימן הנוצרים בין חומצות האמינו לתאית. מסיבה זו הריאגנטים המתאימים ביותר לפיתוח טביעות אצבע על נייר הם ריאגנטים לחומצות אמינו. ריאגנטים אלו מסוגלים לפתח על נייר טביעות טריות וגם טביעות בנות עשרות שנים. יציבות זו אינה קיימת כשהטביעה היא על משטח חלק וחסר כוח ספיגה. לכן כל הריאגנטים לחומצות אמינו משמשים בפועל אך ורק לפיתוח טביעות אצבע על נייר או על משטחים סופגים אחרים כגון עץ.

נינהדרין ואנלוגים שלו כולל DFO

בשנת 1954 התרחשה פריצת דרך חשובה ביותר בתחום של שיטות כימיות לפיתוח טביעות אצבע, כאשר נינהדרין (תמונה 1) - ריאגנט מוכר לחומצות אמינו עוד משנת 1910 הנותן תוצר סגול בשם 'סגול רוהמן' (תמונה 2) - הוצע לשימוש כמפתח טביעות אצבע. מאז הפך נינהדרין לחומר הנפוץ ביותר לפיתוח טביעות אצבע על משטחים סופגים. ההפעלה שלו פשוטה, והתוצר המתקבל הוא בעל צבע סגול עז שניתן לצלמו בקלות בדרך כלל.



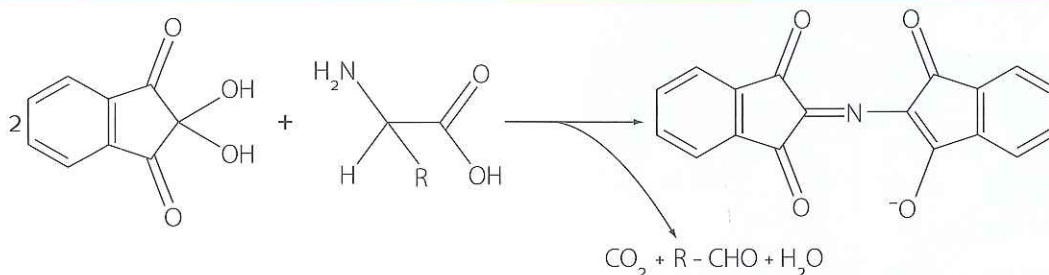
מקורן בבלוטות זיעה אקריניות, אפוקריניות וחלביות (sebaceous). מתוכן רק הבלוטות האקריניות מצויות על כפות הידיים והרגליים. הבלוטות האפוקריניות מצויות בבית השחי, על החזה, על הבטן ועל איברי המין. בלוטות החלב מצויות בעיקר על המצח, סביב האף, על הגב ועל איברי המין. יוצא מכאן שזיעה אקרינית מצויה כמעט תמיד בטביעות האצבע, וגם הזיעה החלבית שכיחה, שכן אנשים נוהגים לגעת תדיר בפניהם.

רוב רובה של טביעת האצבע היא מים (99.5%-99.0%), והשאר הוא תערובת של חומרים אורגנים ואי-אורגניים. המלחים העיקריים הם נתרן כלוריד ואשלגן כלוריד. המרכיבים האורגניים העיקריים הם חומצות אמינו, אוריאה וחומצה לקטית. בזיעת החלב יש חומצות שומן וטרי גליצרידים.

היכולת לחשוף את טביעת האצבע הסמויה, כלומר לעשותה נראית לעין, תלויה בכמות ובהרכב ההפרשות של האדם המשאיר אותה, במשטח שעליו מושארת טביעת האצבע, בזמן שעבר מאז השארת הטביעה ובתנאים החיצוניים שהייתה חשופה להם.

מגיבים לפיתוח טביעות אצבע סמויות המבוססות על חומצות אמינו כסובסטרט

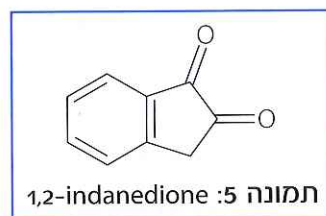
אחת המשפחות מבין מרכיבי טביעת האצבע הסמויה היא המשפחה של חומצות האמינו. משפחה זו היא מהזמינות ביותר לחשיפה על ניירות בזכות יציבותן היחסית של חומצות אמינו על נייר והודות לעובדה שלאורך זמן אין



תמונה 2: התגובה בין נינהידרין לחומצת אמינו לקבלת סגול רוהמן

1,2-אינדאן-דיאון

החיפוש אחר ריאגנטים רגישים יותר שייטיבו בפיתוח טביעות אצבע על נייר לא פסק, והוא השתלב בחיפוש אחר ממסים שיחליפו את הפריאון או לחילופין אחר ריאגנט חדש שפעילותו לא תיפגע מהחלפת הפריאון בממס חדש. בשנת 1995, במסגרת מחקר באוניברסיטת פנסילבניה לגילוי אנלוגים יעילים של נינהדרין, נערכו בדיקות גם על תוצרי ביניים בתהליך הסינתזה. כך נמצא באקראי שהחומר 6-methylthio-1,2-indanedione נתן תוצר זוהר בתגובה עם חומצות אמינו על נייר. תצפית זו הובילה את החוקרים לבחון את הפוטנציאל של 1,2-

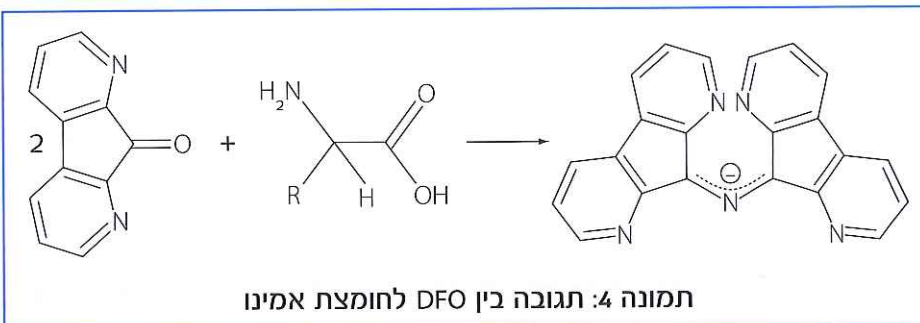


אינדאן-דיאונים כריאגנטים לפיתוח חומצות האמינו שבטביעות האצבע, תוך התמקדות באינדאן-דיאון בלתי מותמר (תמונה 5).



בדיקת טביעות אצבע זוהרות על אקדח

הם מצאו שחלק מהחומרים שנבדקו מקבוצה זו אכן הגיבו עם חומצות אמינו, לעתים ברגישות הגדולה מזו של DFO. נמצא ש-1,2-אינדאן-דיאון הגיב אפילו עם חומצות שומניות ש-DFO אינו מגיב איתן כלל.



מאז נעשו עבודות בניסיון למצוא אנלוגים ונגזרות של נינהדרין שיתפקדו טוב יותר מנינהדרין ברגישות ובצבע ושתוצרי התגובה שלהם יהיו פלורוסנטים; משמע, יהיו בעלי יתרון על משטחים צבעוניים בפרט (וגם על משטחים לא צבעוניים) בגלל רגישות העין הגבוהה יותר לפלורוסנציה מאשר לצבע.



גישת מחקר זו הובילה לפריצת דרך נוספת, כשבשנת 1990 פותח ה-DFO (תמונה 3) שמגיב עם טביעות אצבע על נייר, והתוצר המתקבל

זוהר בעוצמה. מעריכים שחומצות האמינו בטביעה הן המגיבות, ויש מנגנון תגובה משוער (תמונה 4).

יתרונו של ה-DFO על הנינהדרין הוא לא רק בתוצר הזוהר אלא גם ברגישות הגבוהה שלו. DFO מפתח 10% יותר טביעות אצבע מאשר נינהדרין, וכן ניתן להמשיך את הטיפול ולהשתמש בנינהדרין לאחר DFO. מסתבר שבאופן זה מתפתחות לעתים טביעות אצבע נוספות, כ- 10% שלא התפתחו על ידי ה-DFO.

השימוש בנינהדרין ו-DFO הוא ע"י ריסוס או טבילה בתמיסה של החומר הפעיל ולאחד מכן ע"י חימום או המתנה של מס' שעות עד מס' ימים. החומציות של תמיסת העבודה מבוקרת, והממס העיקרי נבחר כך שהדיו על הנייר לא יומס. עד לחתימה על אמנת מונטריאול (1987) האוסרת על שימוש בפריאונים ושאר חומרים הפוגעים באוזון, שימש פריאון CFC113 למטרה זו. לאחר אמנת מונטריאול החל החיפוש אחר ממס חלופי לפריאון.

אופטימיזציה של דרך השימוש באינדאן-דיאון

התגובה של ריאגנט עם טביעת אצבע היא מסובכת בהשוואה לתגובה במבחנה של אותו ריאגנט עם חומצות אמינו שקיימות בטביעת האצבע, או אפילו לעומת תגובה עם כתמים של חומצות אמינו על נייר. זאת בגלל מורכבותה של תערובת החומרים בטביעת האצבע, שיווי המשקל בין החומרים וההבדלים ביחסי החומרים בין אדם לאדם. המחקר שנערך במז"פ נועד לקבוע פומולצית עבודה ותנאי עבודה אופטימליים לשימוש ב-1,2-אינדאן-דיאון כריאגנט לפיתוח טביעות אצבע על נייר, ולאחר מכן להשוות בינו לבין DFO ונינהידרין, הריאגנטים שהובילו בשעתם. לאחר סדרה ארוכה של ניסויים נקבעו ריכוז האינדאן-דיאון בתמיסה, כמות הממס וסוג הממס להמסה ראשונית. הממס הראשי שנבחר הוא HFE 7100, ממס א-פולרי כך שאינו ממיס דיו, אינו דליק וידידותי לסביבה. בממס זה התפתחו באינדאן-דיאון אף יותר טביעות אצבע מאשר בתמיסה שבה היה ממס פריאוני. התברר ש-pH נייטרלי שיפר את ביצועי החומר, בשונה מנינהידרין ו-DFO שפעילים יותר בסביבה חומצית. כמו כן נקבעו תנאי החימום והלחות כדי לפתח את מרב טביעות האצבע בעוצמת זהירה מקסימלית.

נערכה השוואה בין מס' טביעות האצבע שנחשפו בעזרת אינדאן-דיאון לעומת DFO ונינהידרין, ונמצא שאינדאן-

דיאון עולה עליהם ושיתרון השימוש בו בניירות מסוימים כגון נייר עיתון (כמו זה שנמצא בחדר של רוצחי השר גנדי), בולט אף יותר.

המחקר המתואר לעיל של 1,2-אינדאן-דיאון כריאגנט לפיתוח טביעות אצבע הוא דוגמה למדע פורנזי (פלילי) במיטבו. המדע הפורנזי הוא מדע שימושי המנצל התפתחויות בתחומי המדע השונים לפיתוחים המשפרים את המלחמה בפשיעה.

הרעיון שנולד באקראי באוניברסיטת פנסילבניה וטופח במז"פ, הסתיים בריאגנט חדש שבתנאים מסוימים מוכיח עליונות על פני הריאגנטים הוותיקים יותר המיועדים לאותה המטרה.

מקורות

Margot, P., Lennard C., *Fingerprint Detection Techniques*, (1994) *Institute de police scientifique et de criminology*, Lausanne, Switzerland, 6th Ed.

Knowles, A.M., *Development of Latent Fingerprints on Paper and Fabric*, *Proceedings of the Conference on the Science of Fingerprints*, Police Scientific Development Branch. London: Home Office.

Oden S. Von Hoefsten B., *Detection of Fingerprints by the Ninhydrin Reaction*, *Nature* 173, 449.

Grigg R., Mongkolaussavaratana T., Pounds C.A., 1'-8-Diazafluorenone and Related Compounds. A new reagent for the Detection of α -Amino Acids and Latent Fingerprints, (1990) *Tetrahedron Letters* 31, 7215-7218.

Pounds C.A., Grigg R., Mongkolaussavaratana T., *The Use of 1,8-diazafluorenone-9-one (DFO) for the Fluorescent Detection of Latent Fingerprints on Paper, a Preliminary Evaluation*, (1990) *Journal of Forensic Sciences* 35, 169-175.

Petrovskaia O.G., *Design and Synthesis of Chromogenic and Fluorogenic Reagents for Amino Acid Detection*, Doctorate thesis, University of Pennsylvania, 1999.

Wiesner S., Springer E., Sasson Y., Almog J., *Chemical Development of Latent Fingerprints: 1'-2-Indanedione Has Come of Age*, (2001) *J. Forensic Sci.* 46(5), 1082-1084.



טביעות האצבע באינדאן-דיאון