

Etablies en toxicologie forensique, mais à utiliser avec prudence dans les autres domaines

# Sens et non-sens des analyses capillaires

Daniel Fabian<sup>a\*</sup>, Markus R. Baumgartner<sup>b\*</sup>, Michael F. Koller<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Viollier AG, Allschwil; <sup>b</sup> Zentrum für Forensische Haaranalytik, Institut für Rechtsmedizin, Universität Zürich; <sup>c</sup> Suva, Abteilung Arbeitsmedizin, Luzern

\* Ces auteurs ont contribué à part égale au manuscrit

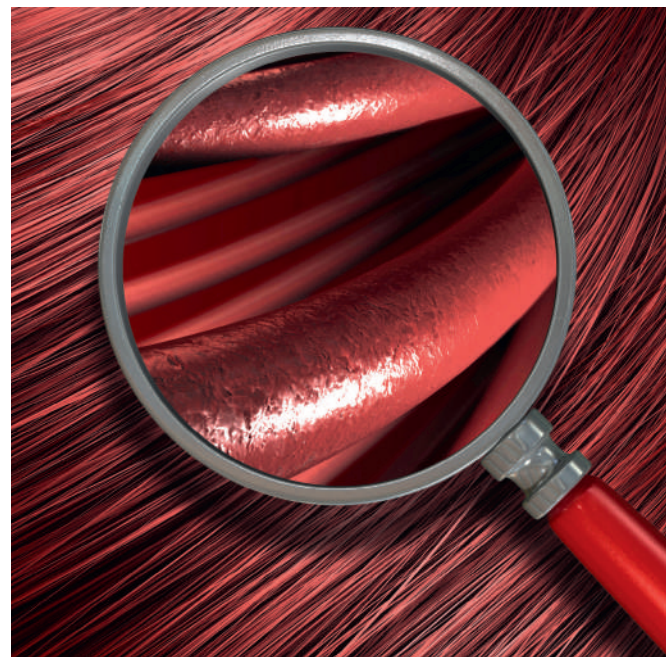
Les analyses capillaires gagnent une importance croissante en médecine. Alors qu'elles sont parfaitement établies en sciences forensiques, la prudence est de mise dans les autres domaines. Ainsi, par ex. lors de l'analyse de métaux et d'oligoéléments dans les cheveux, il arrive toujours encore de suspecter à tort des intoxications ou des carences, ce qui est à l'origine d'inquiétudes chez les patients, de traitements inutiles ou de la non-réalisation d'examen complémentaires pourtant nécessaires. Dans cet article, les auteurs décrivent le bien-fondé des analyses capillaires pour différentes indications.

## Introduction

En toxicologie forensique, les analyses capillaires sont établies depuis des années. Elles y sont par exemple utilisées dans le cadre de contrôles d'abstinence pour la récupération du permis de conduire, dans le cadre de programmes de dépistage des drogues sur le lieu de travail, pour la mise en évidence d'utilisations délictuelles de substances chimiques telles que la soumission chimique (drogue du viol) ou encore pour le contrôle des mesures dans le cadre de l'exécution des peines [1–3]. A cet effet, il existe des méthodes validées, des valeurs de référence internationales et différents mécanismes de contrôle qualité.

Pendant, les analyses capillaires aussi sont de plus en plus utilisées dans différents domaines médicaux et paramédicaux, par exemple en cas de suspicion d'intoxication aux métaux ou de carence en oligoéléments. Dans de tels cas, la prudence est de mise lors de l'analyse et de l'interprétation des résultats. Bien souvent, il n'existe aucune valeur de référence officiellement reconnue. Il convient donc de porter une attention particulière à la qualité et à l'expérience du laboratoire. Le cas publié ci-dessous montre quelles conséquences peuvent avoir des analyses capillaires non validées:

En 2008, un chef pompier de Floride a rapporté à l'autorité sanitaire américaine CDC (*Centers for Disease Control and Prevention*) que 30 pompiers étaient suspectés d'avoir été intoxiqués à l'antimoine suite à la découverte de valeurs élevées d'antimoine dans leurs



cheveux [4–6]. En tant qu'agents ignifuges, les oxydes d'antimoine sont utilisés dans la confection des uniformes de pompier. Etant donné qu'aux Etats-Unis, plus d'un million de pompiers portent ces uniformes, la notification de ce chef pompier a en quelque sorte fait l'effet d'une bombe. La CDC s'est donc saisi de l'affaire et la suspicion d'intoxication n'a pu être confirmée, les analyses d'urine n'ayant révélé aucune valeur



Daniel Fabian



Markus R. Baumgartner

élevée d'antimoine. Ce cas illustre de manière éloquent comment une méthode non validée donnant des résultats faux-positifs provoque des peurs infondées.

## Cheveux et poils

Les cheveux sont principalement constitués de kératine. Viennent ensuite les lipides, la mélanine, les oligo-éléments et l'eau. Le pigment mélanine se retrouve sous quatre variantes différentes. La couleur des cheveux varie en fonction de la proportion de chaque forme de mélanine. Le nombre de cheveux se situe entre un minimum de 80 000 chez les roux et un maximum de 150 000 chez les blonds.

La croissance capillaire s'effectue en un cycle composé de trois phases. La durée des différentes phases varie grandement entre les cheveux et les poils.

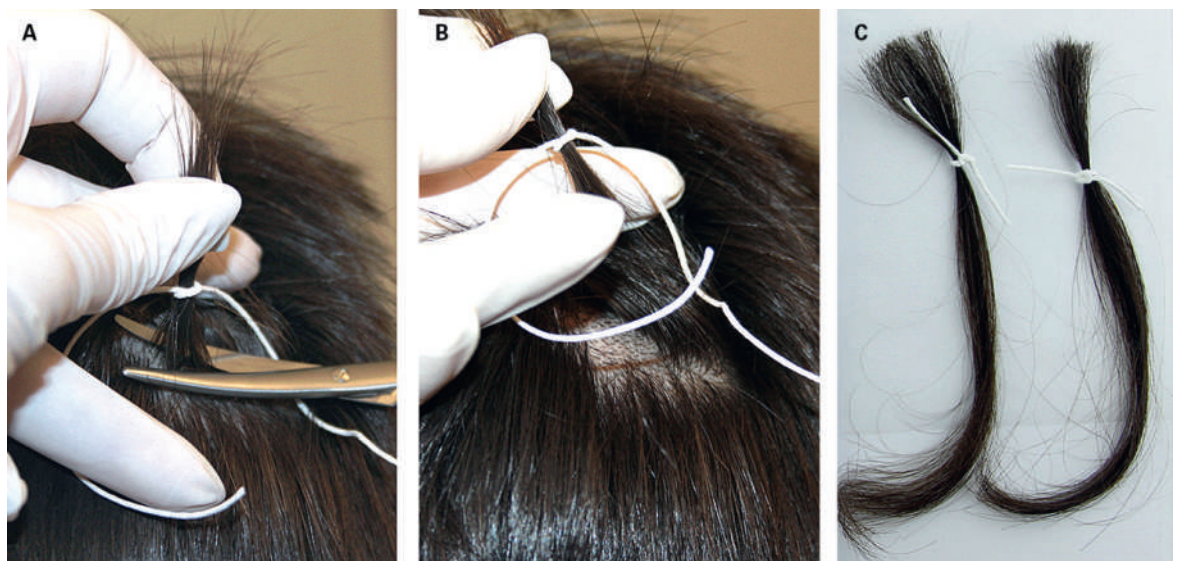
- Phase anagène: il s'agit de la phase active de croissance. La vitesse de croissance est d'environ 1 cm par mois pour les cheveux, avec d'importantes disparités. Les cheveux poussent à la même vitesse chez l'homme et la femme, mais cette vitesse varie en fonction des ethnies. La croissance capillaire des Caucasiens est plus rapide que celle des Africains mais plus lente que celle des Asiatiques. La phase anagène des cheveux dure 2 à 6 ans. Chez le sujet sain, 80 à 95% des cheveux se trouvent dans cette phase. Pour ce qui est des poils, la situation est différente: ces derniers ont une croissance plus lente, mais la durée globale de leur phase anagène est beaucoup plus courte et va de plusieurs mois à un maximum d'1 an. En fonction de la zone du corps, la proportion de poils en phase anagène est de 20 à 50%.

- Phase catagène: au cours de cette phase, le bulbe pileux s'atrophie; il n'y a plus de néoformation ni de kératinisation. Cette phase dure quelques semaines.
- Phase télogène: il s'agit de la phase de repos. Après 2 à 6 mois, le cheveu télogène est délogé par un nouveau cheveu anagène et tombe. En cas d'affection de type alopecie, la proportion de cheveux télogènes peut être grandement accrue.

Un échantillon capillaire représente toujours l'exposition dans une fenêtre temporelle donnée, définie par la longueur et le type (cheveu ou poil). Cette fenêtre temporelle est définissable avec précision en cas de cheveux en bonne santé. Pour ce qui est des poils, seule une estimation approximative de la fenêtre temporelle correspondante est possible, à moins que ceux-ci ne soient rasés à intervalles réguliers dans la même zone du corps, puis analysés.

## Stockage de substances dans le cheveu et le poil

Au cours de la néoformation, des substances étrangères peuvent se stocker dans le cheveu ou le poil. Elles y restent alors emmagasinées et, fixées dans la matrice capillaire, elles progressent vers l'extérieur parallèlement à la croissance du poil. L'intégration de ces substances lors de la néoformation peut dépendre de la pigmentation, de la concentration de substance et des propriétés de la substance (basicité, lipophilie). Une analyse segmentée, c.-à-d. une analyse de petites sections capillaires partielles successives, permet d'estimer l'exposition ou la consommation à un moment précis, à l'instar d'un chronotachygraphe. Une telle



**Figure 1 A et B:** Prélèvement d'échantillons capillaires pour évaluation forensique. **C:** Exemple d'échantillons correctement prélevés: incision en haut, échantillon correctement orienté et noué, épaisseur d'un fétu de paille, échantillons A et B.

analyse n'est cependant possible que pour les cheveux. Si seuls des poils sont disponibles, le prélèvement de poils rasés à intervalles réguliers permet alors de réaliser un contrôle d'évolution.

Les substances étrangères peuvent également atteindre le corps du poil par diffusion passive, via la transpiration et le sébum. Si le stockage s'effectue dans la matrice capillaire sans incorporation, mais par le dépôt de fumée, de résidus pulvérulents ou de shampooing, on parle de contamination externe.

Des traitements cosmétiques peuvent permettre d'éliminer ou de détruire les substances stockées dans les cheveux. Cela vaut particulièrement pour les traitements cosmétiques capillaires, lors desquels il se produit une effraction ou une destruction partielle de la structure capillaire en tant que telle, par exemple en cas de permanente, de décoloration ou de lissage thermique des cheveux.

## Approche pratique de l'analyse capillaire

### Prélèvement de l'échantillon capillaire

Le prélèvement de l'échantillon capillaire doit être confié à des mains expertes. Il est essentiel que la personne en charge du prélèvement maîtrise la protection de l'échantillon ainsi que la technique d'anamnèse. Les cheveux sont les mieux adaptés pour l'analyse capillaire. En cas de cheveux très courts, de cheveux ayant subi un traitement cosmétique ou d'autres cas particuliers, il est nécessaire de prélever également des poils au niveau de la poitrine, de la barbe ou des membres. Les poils axillaires ou pubiens sont les moins adaptés à l'analyse car des facteurs extérieurs tels que la transpiration et l'urine peuvent fausser les résultats.

Le tableau 1 résume le procédé de médecine légale lors de la protection de l'échantillon (fig. 1) [1, 2, 7].

Le prélèvement de l'échantillon capillaire revêt, du moins dans les sciences forensiques, une importance capitale, ce qui est particulièrement évident pour les procédés de dépistage des drogues sur le lieu de travail, principalement établis dans le monde anglo-saxon. Ces procédés définissent de manière très détaillée les directives pour le prélèvement de l'échantillon capillaire avec une chaîne de preuves complète.

### Analyse

Après le prélèvement, les échantillons capillaires arrivent en phase pré-analytique. Ils sont alors identifiés, décrits (éventuellement photographiés) et, en fonction de la problématique, segmentés. La mèche de cheveux ou les segments isolés sont lavés en plusieurs étapes puis, une fois secs, ils sont réduits ou homogénéisés. Les solutions de lavage doivent être conservées.

Ensuite, les substances d'intérêt sont en premier lieu extraites du cheveu. A cet effet, l'échantillon est secoué ou agité en continu dans l'agent d'extraction, exposé à des ultrasons ou placé en incubation à haute température. La détection est réalisée au moyen de la chromatographie en phase gazeuse-spectrométrie de masse (GC-MS), la GC-MS/MS ou la chromatographie en phase liquide-spectrométrie de masse/spectrométrie de masse (LC-MS/MS) qui, pour les drogues et les médicaments, permettent une identification et une quantification spécifiques à la substance. Il est également possible de recourir à des procédés immuno-chimiques pour certaines substances ou groupes de substances. En ce qui concerne l'analyse des métaux, les cheveux sont entièrement dissous puis le plus souvent analysés par spectrométrie de masse avec plasma à couplage inductif (ICP-MS) ou spectrométrie d'émission optique avec plasma à couplage inductif (ICP-OES).

Bien entendu, seuls les procédés validés sont fiables et il est en principe souhaitable que le laboratoire soit accrédité ou qu'il ait implémenté un protocole de gestion conséquent. De telles règles de qualité exigent en outre la participation régulière à des comparaisons inter-laboratoires ainsi qu'à des essais circulaires. Des échantillons capillaires réels sont utilisés comme contrôles qualité internes (contrôles négatifs et contrôles positifs) et pour la calibration.

## Alcool, drogues et médicaments

La mise en évidence de drogues et de principes actifs médicamenteux dans les cheveux est un procédé standard utilisé depuis de nombreuses années en sciences forensiques. Une liste des principales substances testées en cas de suspicion de consommation de drogues a par exemple été élaborée par Baumgartner MR en 2011 [7].

**Tableau 1:** Procédure de protection de l'échantillon d'une analyse capillaire.

Vérification de l'identité du sujet examiné et de la déclaration de consentement.

Prélèvement d'au moins deux mèches de cheveux d'épaisseur suffisante (entre le fétu de paille et le crayon à papier) au niveau de la région occipitale de la tête, en quantité suffisante (au moins 30 mg par segment capillaire). C'est dans la région occipitale que le taux de croissance varie le moins.

Nouer la mèche de cheveux avec un fil.

Couper directement à partir du cuir chevelu.

Marquer l'extrémité proche de la tête.

Estimer la longueur de la partie des cheveux restée sur la tête.

Procéder à un marquage clair de l'échantillon.

Procéder à une description des cheveux (lieu de prélèvement, couleur, longueur, particularités cosmétiques, éventuellement photographie).

Placer dans un emballage sûr et résistant à l'humidité, stocker à température ambiante et à l'abri de la lumière.

Documenter le processus (préleveur).



Depuis environ 10 ans, les analyses capillaires permettent également de déterminer de manière rétrospective les habitudes en matière de consommation d'alcool. Pour ce faire, les deux marqueurs directs de l'alcool, l'éthylglucuronide (EtG) et l'ester éthylique d'acide gras (EEAG), sont quantifiés dans les cheveux. Ces marqueurs contiennent l'unité C2 de l'alcool de consommation (alcool éthylique), raison pour laquelle sa mise en évidence témoigne de la présence d'éthanol.

### Interprétation des résultats

Le point essentiel des analyses capillaires forensiques réside dans leur interprétation. C'est pour cette raison que depuis de nombreuses années, différentes organisations professionnelles et différents groupes de travail scientifiques élaborent des directives et recommandations et y apportent régulièrement des modifications en fonction de l'état actuel des connaissances [1, 2, 8, 9]. La détermination des valeurs et définitions suivantes est particulièrement essentielle:

- Valeurs seuil: seuil décisionnel positif-négatif. Une valeur d'analyse positive témoigne de la prise ou du stockage d'un certain principe actif. En outre, on détermine généralement la longueur segmentaire maximale pour laquelle une valeur seuil est valable, car même avec un soin normal des cheveux, une partie des substances stockées peut être éliminée avec le temps.
- Proportions de métabolites: la mise en évidence de certains produits métaboliques au sein de l'échantillon capillaire peut être utilisée afin de confirmer la prise d'une substance et de faire la distinction entre un stockage après incorporation (ingestion, inhalation, absorption transdermique, intraveineuse ou intramusculaire, etc.) et une contamination externe (fumée, résidus pulvérulents).

Une corrélation entre la dose de principe actif prise et la quantité de substance stockée dans les cheveux n'est bien documentée que pour un nombre limité de substances. Les résultats d'analyse positifs sont donc par ex. rapportés avec la gradation suivante:

1. Mise en évidence de la prise de la substance;
2. Classification de la concentration: faible/moyenne/élevée;
3. Indice évocateur d'un possible mode consommation.

Les résultats d'analyses capillaires correspondent toujours à une valeur moyenne pour la période analysée; il est impossible de déterminer si la concentration est le fruit d'une prise régulière, par ex. quotidienne, ou de consommations excessives épisodiques. Une analyse segmentée, avec le déploiement de moyens conséquents, peut éventuellement aider à clarifier la situa-

tion. Cette approche est notamment utilisée pour les soumissions chimiques (drogue du viol).

L'analyse capillaire forensique revêt une importance capitale pour la vérification des habitudes de consommation d'alcool, de drogues ou de médicaments dans le cadre des tests d'aptitude à la conduite et lors des contrôles d'abstinence. Après l'arrêt de la consommation d'une substance, c.-à-d. au début de la carence, les nouveaux cheveux ne sont pas immédiatement exempts de la substance. D'une part, environ 10 à 14 jours s'écoulent avant que les nouveaux cheveux sans substance stockée atteignent le cuir chevelu, et d'autre part, une mèche de cheveux comporte toujours une certaine proportion de cheveux télogènes, qui correspondent à une période plus ancienne. En conséquence, la concentration de substance dans une mèche de cheveux baisse continuellement; des valeurs empiriques documentent par exemple une diminution d'un facteur 2-3 par mois, en fonction de la longueur segmentaire.

Lors de l'interprétation des résultats de l'analyse capillaire, toute une série de facteurs pertinents doivent être pris en compte. En règle générale, ces résultats font partie d'une expertise, comme lors de la récupération du permis de conduire après un retrait ou en cas de suspicion de dépendance avec abus de substance(s). Il convient de souligner que ces résultats de laboratoire représentent certes une part importante de l'expertise, mais ne peuvent en aucun cas se suffire à eux-mêmes pour la décision finale.

### Métaux et oligoéléments

La grande importance que revêt l'analyse capillaire pour la mise en évidence d'une possible consommation de drogues, de médicaments ou d'alcool soulève la question de savoir si ce type d'analyse est aussi bien adapté aux investigations relatives à une contamination aux métaux ou à l'apport en oligoéléments. Depuis quelques années, ces examens, connus sous le nom d'analyse minérale capillaire, sont de plus en plus proposés et font l'objet d'une importante promotion.

Ainsi, toujours plus de patients se tournent vers leur pharmacien, leur médecin ou leur laboratoire d'analyses pour demander la réalisation d'analyses capillaires car ils suspectent que leurs troubles soient provoqués par la pollution environnementale, l'exposition à des substances sur le lieu de travail, certains aliments ou une carence en oligoéléments. Il est frappant de constater à quel point le spectre des paramètres à analyser est vaste, couvrant une grande partie du système périodique des éléments chimiques. Il s'agit souvent d'un dépistage multiéléments et non d'une analyse ciblée.

En principe, il convient pour la pratique de tenir compte des mêmes points que pour une analyse capillaire relative aux drogues, aux médicaments ou à l'alcool [10]. Toutefois, à la différence de ces analyses capillaires établies, la pertinence des résultats de l'analyse minérale capillaire présente d'autres limitations d'envergure. Celles-ci seront détaillées dans la suite de l'article.

### **Différenciation entre facteurs endogènes et exogènes**

Une contamination externe des cheveux par des métaux et des oligoéléments peut en principe survenir à tout moment. Elle peut s'effectuer par l'air, par l'eau (eau du robinet, eaux de pluie, eaux de baignade, etc.) et par les produits cosmétiques. Pour la multitude de paramètres entrant en compte dans l'analyse minérale capillaire, il existe un nombre immense de sources et de voies de contamination potentielles. Le processus de lavage et de nettoyage pré-analytique peut lui-même entraîner une contamination [11, 12]. Malgré des travaux scientifiques intensifs, aucun processus de lavage et de nettoyage standardisé et reconnu semblable à celui utilisé pour le dépistage de drogues, médicaments ou alcool n'a jusqu'à présent été publié. Les ions métalliques exogènes sont capables de pénétrer profondément dans la substance capillaire [13]. Ainsi, le problème de la contamination externe ne peut pas être résolu par le seul processus de nettoyage capillaire. La seule possibilité actuellement connue permettant de différencier la proportion endogène de la proportion exogène réside dans l'analyse des composés, c.-à-d. l'analyse des différentes formes de liaison d'un élément. Toutefois, cela n'est possible que pour un faible nombre d'éléments. Pour le mercure par exemple, on peut considérer que la présence de méthylmercure dans les cheveux provient presque exclusivement de la consommation de produits issus de la pêche [14]. Toutefois, de nombreuses offres commerciales d'analyse minérale capillaire ne prévoient aucune spéciation de ce type.

### **Corrélation entre la teneur en élément dans les cheveux et les effets cliniques**

Pour pouvoir conclure à une exposition physique individuelle ou un apport individuel à partir de la teneur en élément dans les cheveux, il devrait y avoir une corrélation entre la teneur dans le cheveu et les concentrations dans le sang, l'urine ou de potentiels organes cibles. Cependant, une telle corrélation n'a jusqu'à présent été déduite que pour le méthylmercure et pour les composés organiques du plomb.

En l'absence de corrélation entre la teneur en élément dans les cheveux et les concentrations en élément dans d'autres parties du corps, il n'est pas surprenant que les données disponibles concernant les effets cliniques soient très lacunaires et que les relations concentration-effet fassent défaut. Ainsi, on ne sait pas quelles teneurs en élément dans les cheveux sont associées à quelles répercussions cliniques. Cela a entre autres pour conséquence l'absence de valeurs de référence ou de valeurs d'évaluation généralement reconnues. Les prestataires commerciaux d'analyses minérales capillaires utilisent chacun leurs propres valeurs de références. En règle générale, il ne s'agit pas de véritables valeurs seuils au-dessus ou en-dessous desquelles il faut s'attendre à des effets indésirables, mais d'un percentile donné d'un collectif ayant été analysé au laboratoire, qui n'est pas nécessairement représentatif de la population générale. Il est essentiel que cette information soit correctement communiquée au patient, afin que ce dernier soit en mesure d'apprécier le résultat à sa juste valeur.

Il convient de ne pas oublier de mentionner que cette détermination statistique de valeurs de référence est une pratique courante en médecine de laboratoire pour une analyse ciblée (*targeted analysis*). Pour les examens de dépistage multiéléments comme pour l'analyse minérale capillaire, la multiplicité des paramètres (chaque paramètre est un test en soi) entraîne une importante erreur statistique de type 1. Plus le nombre de paramètres analysés est élevé, plus la probabilité d'une déviation aléatoire (non présente) par rapport à la valeur de référence est grande: en supposant un niveau de confiance de 95% lors de la détermination d'une valeur de référence, il y a une probabilité de 79% ( $x = 1 - 0,95^{30}$ ) d'obtenir un résultat faux-positif en cas d'analyse de 30 paramètres.

### **Assurance qualité**

Afin d'assurer une certaine standardisation dans les analyses de laboratoire, il existe des normes internationales qui sont contrôlées par une accréditation nationale. Dans le domaine du diagnostic médical, il s'agit des normes ISO/IEC 17025 et ISO 15189. Il apparaît que les analyses minérales capillaires des prestataires commerciaux sont bien souvent réalisées hors du domaine d'accréditation. Plusieurs études ont par le passé montré que les résultats des analyses minérales capillaires réalisées par des prestataires commerciaux n'étaient pas comparables entre eux et que, pour un même échantillon, les résultats pouvaient varier même au sein d'un même laboratoire [15-18]. L'absence de reproductibilité des résultats indique une assurance qualité insuffisante.

Correspondance:  
Dr méd. Dr sc. nat.  
Michael Koller  
Suva  
Abteilung Arbeitsmedizin  
Verantwortlicher Arzt für  
Toxikologie  
Fluhmattstrasse 1  
CH-6002 Luzern  
michael.koller[at]suva.ch

### Analyse minérale capillaire: récapitulatif

Sur la base des limitations décrites précédemment, l'analyse minérale capillaire est de manière générale désapprouvée pour l'évaluation de la contamination individuelle aux métaux ou de l'apport en oligoéléments [19–23]. Il existe cependant quelques exceptions, qui sont les suivantes: la détection de l'arsenic en cas d'exposition à ses composés anorganiques, du plomb en cas d'exposition à ses composés organiques, et du méthylmercure après consommation de produits issus de la pêche. En cas de suspicion de contamination au mercure via un amalgame dentaire, l'analyse capillaire s'avère là aussi inadaptée car il ne s'agit pas de méthylmercure, mais d'une exposition à des composés anorganiques du mercure. Toutefois, il convient de noter que même pour les exceptions citées, une exposition atmosphérique peut apporter une contribution exogène considérable (contamination externe).

Par ailleurs, l'analyse minérale capillaire peut trouver un emploi dans les études épidémiologiques et historiques ou dans les examens d'évolution réalisés chez la même personne [24]. Les conditions préalables sont des méthodes validées, une assurance qualité fiable et l'évaluation par des professionnels dotés des connaissances spécifiques et de l'expérience nécessaires. En outre, il est essentiel de toujours examiner avec soin la mesure dans laquelle le sang, l'urine ou d'autres compartiments corporels permettraient de tirer des conclusions plus fiables.

### L'essentiel pour la pratique

- Les analyses capillaires se sont établies en tant que méthode incontournable et fiable en médecine légale. Toutefois, il est indispensable de veiller à un procédé correct, depuis le prélèvement de l'échantillon jusqu'à l'assurance qualité dans le laboratoire d'analyses (*chain of custody*).
- En ce qui concerne les analyses capillaires relatives à la consommation de drogues, de médicaments ou d'alcool, il existe des directives ou recommandations internationalement reconnues.
- Il existe des approches très prometteuses pour de nouveaux emplois dans le quotidien clinique et en toxicologie environnementale; toutefois, ces dernières se trouvent encore au stade expérimental.
- Malgré une recherche scientifique intensive, l'analyse minérale capillaire ne permet qu'exceptionnellement de conclure à des contaminations ou des carences de l'organisme. Les nombreuses limitations sous-jacentes et incertitudes ne permettent bien souvent aucune application diagnostique fiable.
- L'utilisation de valeurs de référence spécifiques au laboratoire et déterminées statistiquement en combinaison avec un dépistage multiéléments s'accompagne d'un risque de résultats faux-positifs.
- Une pose fiable du diagnostic est capitale, car les désintoxications (inutiles) ainsi que les traitements de substitution peuvent être durables, onéreux et s'accompagner d'effets indésirables, tout en passant à côté de la cause réelle de l'affection [33, 34].

### Perspectives

Dans le quotidien clinique, de nouvelles perspectives s'ouvrent pour le recours aux analyses capillaires, par exemple pour le dépistage rétrospectif de la consommation d'alcool, de médicaments ou de drogues avant des interventions chirurgicales lourdes [25, 26]. Dans le domaine thérapeutique, par exemple dans les programmes de désintoxication, la surveillance réalisée par analyse capillaire n'est pratiquement pas utilisée. En règle générale, des tests sanguins ou urinaires réguliers sont réalisés à cet effet, ce qui conduit à des prélèvements d'échantillon fréquents en cas de surveillance étroite. Toutefois, la surveillance au long cours est aujourd'hui déjà réalisée de manière isolée au moyen des analyses capillaires plutôt que par contrôle sur prélèvements (par ex. dans le cadre d'un programme de substitution aux opiacés). A moyen terme, la surveillance prospective et d'accompagnement du patient au moyen de l'analyse capillaire devrait gagner en importance, car elle pourrait présenter certains avantages dans les traitements médicamenteux au long cours, en tant que contrôle de l'observance, notamment en ce qui concerne l'investissement pour les analyses de laboratoire et la liberté du patient [27]. Une première utilisation clinique a été publiée pour l'agent immunosuppresseur ciclosporine A [28]. Grâce à un grand nombre d'études, il a été possible de documenter la mise en évidence de l'hormone de stress cortisol dans les cheveux pour différentes problématiques [29, 30]. Un domaine très récent de l'analyse capillaire est son utilisation en toxicologie environnementale pour les toxines environnementales organiques [31, 32]. Les questions centrales sont encore une fois de savoir quelles substances ou produits de dégradation sont stockés dans les cheveux et peuvent en être éliminés de manière non destructive, mais aussi de connaître les valeurs seuils à partir desquelles les concentrations mesurées sont pertinentes. La mise en évidence de substances volatiles stockées dans les cheveux, telles que le méthanal, n'a jusqu'à présent pas été documentée. La situation est différente pour toute une série de pesticides. Ces résultats de recherche doivent toutefois encore être confirmés dans d'autres études et leur pertinence doit être démontrée.

#### Disclosure statement

Les auteurs ne déclarent aucun conflit d'intérêts financier ou personnel en rapport avec cet article.

#### Photo de couverture

© Albund | Dreamstime.com

#### Références

La liste complète et numérotée des références est disponible en annexe de l'article en ligne sur [www.medicalforum.ch](http://www.medicalforum.ch).

## Références

- G.A.A. Cooper, R. Kronstrand, P. Kintz. Society of Hair Testing guidelines for drug testing in hair, *Forensic Science International*. 218;(2012):20–24.
- [http://www.sgrm.ch/uploads/media/rules\\_haaranalytik\\_03.pdf](http://www.sgrm.ch/uploads/media/rules_haaranalytik_03.pdf): Die forensisch-toxikologische Haaranalyse (2010); [http://www.sgrm.ch/uploads/media/Drogen-Medi\\_FINAL\\_2014.pdf](http://www.sgrm.ch/uploads/media/Drogen-Medi_FINAL_2014.pdf): Bestimmung von Drogen und Medikamenten in Haarproben (2014); [http://www.sgrm.ch/uploads/media/EtG\\_FINAL\\_2014.pdf](http://www.sgrm.ch/uploads/media/EtG_FINAL_2014.pdf): Bestimmung von Ethylglucuronid in Haarproben (2014).
- F. Pragst, M.A. Balikova, State of the art in hair analysis for detection of drug and alcohol abuse, *Clinica Chimica Acta*. 370;(2006):17–49.
- Kawamoto M, Durgam MS, Eisenberg J, Caldwell K, de Perio M. Pseudo-Outbreak of Antimony Toxicity in Firefighters – Florida, 2009. *Morbidity and Mortality Weekly Report*. 2009;58(46):1300–2.
- de Perio M, Durgam S. Evaluation of Antimony and Mercury Exposure in Fire Fighters. *Health Hazard Evaluation Report*. 2009;2009(0025).
- de Perio MA, Durgam S, Caldwell KL, Eisenberg J. A health hazard evaluation of antimony exposure in fire fighters. *Journal of occupational and environmental medicine / American College of Occupational and Environmental Medicine*. 2010;52(1):81–4.
- Baumgartner MR. Nachweis des Konsums von psychotropen Substanzen und Alkohol mittels Haaranalyse. *Therapeutische Umschau*. 2011;68(5):269–72.
- <http://www.ewdts.org/data/uploads/documents/ewdts-guideline-hair-v2.o.pdf>: European Guidelines for Workplace Drug and Alcohol Testing in Hair (2015).
- <http://store.samhsa.gov/shin/content/SMA12-4668/SMA12-4668.pdf>: Clinical drug testing in primary cases (2012).
- Rauscher J. Qualitätssicherung in der Haarmineralstoff- und Schwermetallanalyse. *Z. Umweltmedizin* 2003;3:142–4.
- Kempson IM, Henry DA. Determination of Arsenic Poisoning and Metabolism in Hair by Synchrotron Radiation: The Case of Phar Lap. *Angew. Chem. Int. Ed.* 2010;49:4237–40.
- Reiss B, Simpson CD, Baker MG, Stover B, Sheppard L, Seixas NS. Hair Manganese as an Exposure Biomarker among Welders. *Ann Occup Hyg*. 2015 Sep 25 [Epub ahead of print]. PMID: 26409267.
- Kijewski H. Die forensische Bedeutung der Mineralstoffgehalte in menschlichen Kopfharen. 1993. Schmidt-Römhild, Lübeck.
- Kommission Human-Biomonitoring. Stoffmonographie Quecksilber – Referenz- und HumanBiomonitoring-(HBM)-Werte. Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz. 1999;42:522–53215. Seidel S, Kreutzer R, Smith D et al. Assessment of commercial laboratories performing hair mineral analysis. *JAMA*. 2001;285:67–72.
- Drasch G, Roeder G. Assessment of hair mineral analysis commercially offered in Germany. *J Trace Elem Med Biol*. 2002;16:27–31.
- Hamilton T, Schweinsberg F. Ergebnisse eines Ringversuches mit Haarproben eines gesunden Probanden – ein Beitrag zur kritischen Bewertung der Haarmineral-Analyse. *Umweltmed Forsch Prax*. 2003;8:123–130.
- test. Stiftung Warentest. An den Haaren herbeigezogen. 2004;10:86–90.
- Bekanntmachung des Umweltbundesamtes. Haaranalyse in der Umweltmedizin. Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz. 2005;48(2):246–50.
- Harkins DK, Susten AS. Hair analysis: exploring the state of the science. *Environ Health Perspect*. 2003;111(4):576–821. Helmholtz Zentrum München :Human-Biomonitoring: Haaranalyse als Methode. 2008.
- Aetna. Hair Analysis. *Clinical Policy Bulletin*. 2015.
- Kempson IM, Lombi E. Hair analysis as a biomonitor for toxicology, disease and health status. *Chem Soc Rev*. 2011;40(7):3915–40.
- Kohler M, Wahl C, Baumgartner M, Imoberdorf R. Wie lautet Ihre Diagnose. *Therapeutische Umschau*. 2000;57(3):173–4.
- Haller DL, Schiano T, Lewis D. Is there a better way to monitor abstinence among substance abusers awaiting transplantation? *Current opinion in organ transplantation*. 2012;17(2):180–7.
- Andresen-Streichert H, von Rothkirch G, Vettorazzi E, Mueller A, Lohse AW, Frederking D, et al. Determination of Ethyl Glucuronide in Hair for Detection of Alcohol Consumption in Patients After Liver Transplantation. *Therapeutic drug monitoring*. 2015;37(4):539–45.
- Binz TM, Baumgartner MR: Haaranalyse zum retrospektiven und prospektiven Konsum-Monitoring: Substanzmissbrauch, Abstinenz- und Compliancekontrolle. *Praxis*. 2016;105(1):17–21.
- Muller A, Jungen H, Iwersen-Bergmann S, Sterneck M, Andresen-Streichert H. Analysis of cyclosporin a in hair samples from liver transplanted patients. *Therapeutic drug monitoring*. 2013;35(4):450–8.
- Stalder T, Kirschbaum C. Analysis of cortisol in hair--state of the art and future directions. *Brain, behavior, and immunity*. 2012;26(7):1019–29.
- Russell E, Koren G, Rieder M, Van Uum S. Hair cortisol as a biological marker of chronic stress: current status, future directions and unanswered questions. *Psychoneuroendocrinology*. 2012;37(5):589–601.
- Appenzeller BM, Tsatsakis AM. Hair analysis for biomonitoring of environmental and occupational exposure to organic pollutants: state of the art, critical review and future needs. *Toxicology letters*. 2012;210(2):119–40.
- Hardy EM, Duca RC, Salquebe G, Appenzeller BM. Multi-residue analysis of organic pollutants in hair and urine for matrices comparison. *Forensic science international*. 2015;249:6–19.
- Amster E, Tiwary A, Schenker MB. Case Report: potential arsenic toxicosis secondary to herbal kelp supplement. *Environ Health Perspect*. 2007;115(4):606–608.
- Vogel I. Nach dem Haartest: Pillen für 1900 Franken. *Gesundheitstipp*. 2011;1. 18. Januar 2011.