

In der forensischen Toxikologie etabliert, in anderen Bereichen ist Vorsicht geboten

Sinn und Unsinn von Haaranalysen

Daniel Fabian^{a*}, Markus R. Baumgartner^{b*}, Michael F. Koller^c

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

* Diese Autoren haben zu gleichen Teilen zum Manuskript beigetragen.

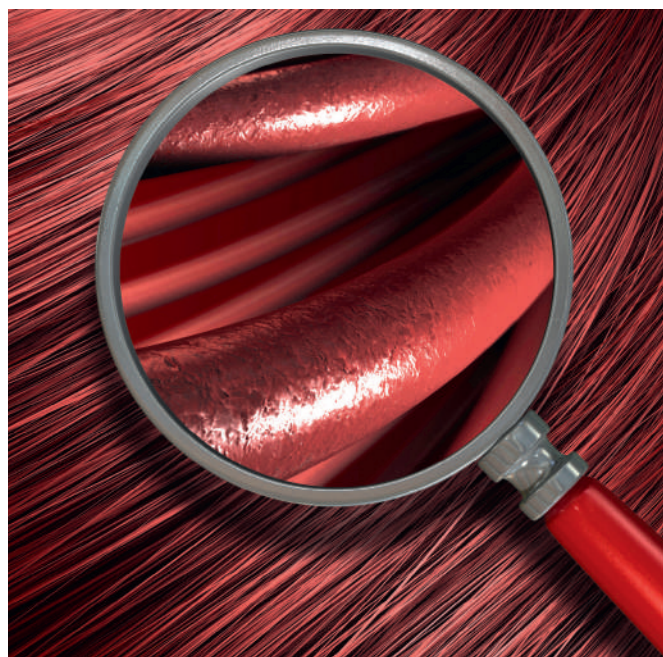
Haaranalysen gewinnen in der Medizin zunehmend an Bedeutung. Während sie in der Forensik bestens etabliert sind, ist bei anderen Fragestellungen Zurückhaltung geboten. So kommt es zum Beispiel bei der Untersuchung von Metallen und Spurenelementen im Haar immer wieder fälschlicherweise zum Verdacht von Intoxikationen oder Mangelerscheinungen, was zu Verunsicherungen bei Patienten, unnötigen Therapien oder verpassten weiteren Abklärungen führt. In diesem Artikel beschreiben die Autoren die Sinnhaftigkeit von Haaranalysen für verschiedene Indikationen.

Einführung

Haaranalysen sind in der forensischen Toxikologie seit Jahren etabliert. Sie werden dort zum Beispiel im Rahmen von Abstinenzkontrollen zur Wiedererlangung des Führerausweises, im Rahmen von «Workplace Drug Testing»-Programmen, zum Nachweis von deliktischen Fremdapplikationen wie K.O.-Tropfen (Knock-Out-Tropfen) oder zur Kontrolle von Massnahmen im Strafvollzug eingesetzt [1–3]. Dazu existieren validierte Methoden, internationale Richtwerte und verschiedene Qualitätskontrollmechanismen.

Haaranalysen werden aber auch in verschiedenen Bereichen der Medizin und Paramedizin immer öfter durchgeführt, so zum Beispiel bei Verdacht auf Vergiftungen mit Metallen oder Unterversorgung mit Spurenelementen. Bei solchen Fragestellungen ist bei der Analyse und Interpretation der Resultate Vorsicht geboten. Häufig finden sich keine offiziell anerkannten Richtwerte. Es ist also ein besonderes Augenmerk auf die Qualität und Erfahrung des Labors zu richten. Folgender publizierter Fall zeigt, welche Folgen nicht-validierte Haaranalysen haben können:

Im Jahr 2008 erhielt die amerikanische Gesundheitsbehörde CDC (Centers for Disease Control and Prevention) von einem Feuerwehrchef aus Florida die Meldung, dass bei 30 Feuerwehrleuten der Verdacht auf eine Antimonintoxikation bestünde, da erhöhte Antimonwerte in deren Haaren gefunden worden seien [4–6]. Antimon-Oxide finden als Brandschutzmittel in Uniformen für Feuerwehrleute Verwendung. Da in den



USA über eine Million Feuerwehrleute solche Uniformen tragen, war diese Meldung des Feuerwehrchefs von einiger Brisanz. Die CDC nahm sich des Falles an. Es zeigte sich, dass der Verdacht auf eine Intoxikation nicht bestätigt werden konnte, da Messungen im Urin keine erhöhten Antimonwerte ergaben. Dieser Fall zeigt eindrücklich, wie aufgrund einer nicht-validierten Methode, die zu falsch-positiven Resultaten führte, unbegründete Ängste geschürt wurden.



Daniel Fabian



Markus R. Baumgartner

Das Haar

Haare bestehen in erster Linie aus Keratin. Daneben finden sich Lipide, Melanin, Spurenelemente und Wasser im Haar. Das Pigment Melanin kommt in vier verschiedenen Variationen vor. Je nach Verhältnis der verschiedenen Melaninformen variiert die Haarfarbe. Die Anzahl Haare liegt zwischen minimal 80 000 bei Rothaarigen und maximal 150 000 bei Blondinen.

Das Haarwachstum durchläuft einen Zyklus von drei Phasen. Die Dauer der verschiedenen Phasen ist bei Kopf- und Körperhaaren deutlich verschieden.

- Anagene Phase: Dies ist die aktive Wachstumsphase. Die Wachstumsgeschwindigkeit beträgt bei Kopfharen etwa 1 cm pro Monat, wobei es deutliche Abweichungen geben kann. Haare wachsen bei Frauen und Männern gleich schnell, das Wachstum unterscheidet sich aber bei verschiedenen Ethnien. So ist das Wachstum bei Afrikanern langsamer und bei Asiaten schneller als bei Kaukasiern. Die Anagenphase der Kopfhare dauert zwei bis sechs Jahre. Bei einer gesunden Person befinden sich etwa 80–95% der Haare in dieser Phase. Anders sieht die Situation bei Körperhaaren aus. Diese wachsen etwas langsamer, aber die Gesamtdauer der Anagenphase ist bei Körperhaaren deutlich kürzer und liegt im Bereich von mehreren Monaten bis maximal einem Jahr. Je nach Körperregion beträgt der Anteil anagener Haare zwischen 20 und 50%.
- Katagene Phase: In dieser Phase bildet sich die Haarwurzel zurück, es erfolgt keine Neubildung und keine Keratinisierung mehr. Diese Phase dauert wenige Wochen.

- Telogene Phase: Hierbei handelt es sich um die Ruhephase. Nach zwei bis sechs Monaten wird das telogene Haar durch ein neues anagenes Haar ausgestossen und fällt aus. Bei Erkrankungen aus dem Formenkreis der Alopezie kann der Telogenanteil erheblich erhöht sein.

Eine Haarprobe repräsentiert immer die Exposition in einem durch die Haarlänge und den Haartyp (Kopf-, Körperhaare) definierten Zeitfenster. Dieses lässt sich für gesunde Kopfhare recht genau bestimmen. Bei Körperhaaren ist nur eine grobe Abschätzung des korrespondierenden Zeitfensterbereichs möglich, es sei denn, diese werden in regelmässigen Abständen am selben Ort rasiert und anschliessend untersucht.

Substanzeinlagerung ins Haar

Während der Haarneubildung können sich Fremdsubstanzen im Haar einlagern. Dort bleiben diese Substanzen gespeichert und wachsen – in der Haarmatrix fixiert – mit dem Haar nach aussen. Der Einbau bei der Haarneubildung kann von der Pigmentierung, der Substanzkonzentration und den Substanzeigenschaften (Basizität, Lipophilie) abhängen. Eine segmentierte Untersuchung, das heisst eine Untersuchung in kürzeren, aufeinander folgenden Teilabschnitten des Haares, erlaubt – wie bei einem Fahrtenschreiber – eine Aussage über die Exposition bzw. den Konsum zu einer bestimmten Zeit. Eine solche segmentierte Analyse ist aber nur bei Kopfharen möglich. Sind nur Körperhaare verfügbar, so kann durch Sicherstellung von ab-rasierten Körperhaaren in regelmässigen Abständen eine Verlaufskontrolle vorgenommen werden.

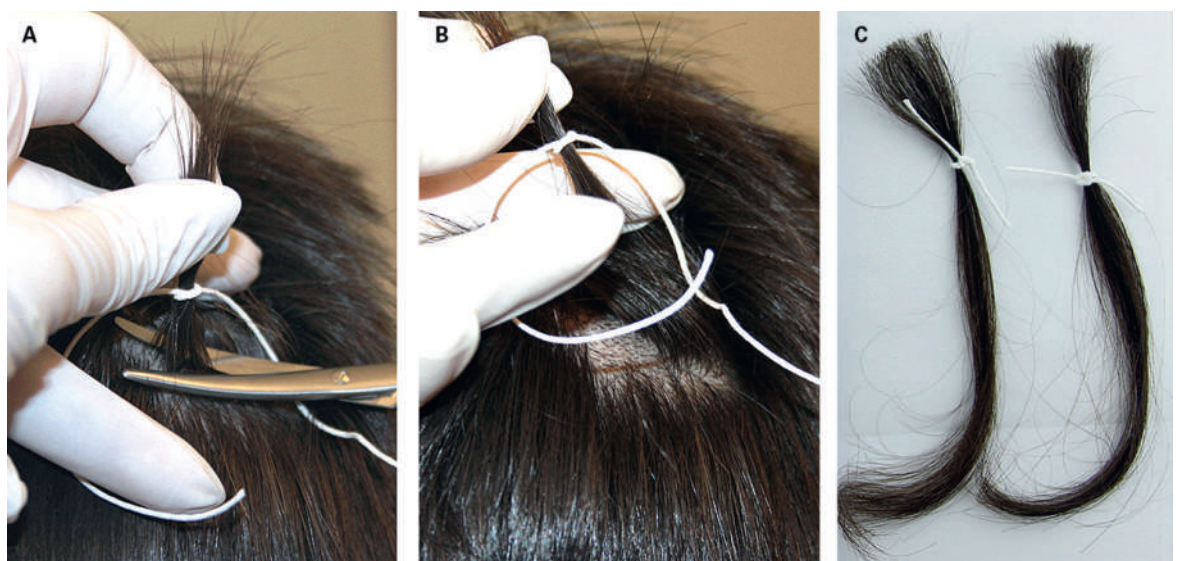


Abbildung 1 A und B: Sicherstellung von forensisch verwertbaren Haarproben. **C:** Beispiel von korrekt asservierten Proben: Schnitt oben, korrekt ausgerichtet und zusammengebunden, strohhalmdick, A- und B-Probe.

Fremdstoffe können auch über Schweiß und Talg mittels passiver Diffusion in den Haarschaft gelangen. Erfolgt die Einlagerung in die Haarmatrix ohne Inkorporation, dafür über die Ablagerung von Rauch, Pulverrückständen oder Shampoos, so spricht man von externer Kontamination.

Durch kosmetische Behandlungen können eingelagerte Stoffe aus dem Haar herausgelöst oder zerstört werden. Dies gilt insbesondere für kosmetische Haarbehandlungen, bei denen auch die Haarstruktur als solche aufgebrochen oder teilweise zerstört wird, beispielsweise bei Dauerwellen, Bleichen oder thermischem Strecken der Haare.

Praktisches Vorgehen bei der Haaranalytik

Sicherstellung der Haarprobe

Die Sicherstellung der Haarprobe (Haarasservation) gehört in offizielle Hände. Wichtig ist dabei, dass der Asserveur die Probensicherung und die Anamnesetechnik beherrscht. Am besten geeignet für eine Haaranalyse sind die Kopfhaare. Bei sehr kurzen Kopfhaaren, kosmetisch behandelten Haaren und anderen Spezialfällen sollten neben den Kopfhaaren auch Brust- oder Barthaare oder Haare der Extremitäten asserviert werden. Achsel- und Schamhaare eignen sich am wenigsten für eine Untersuchung, da äussere Faktoren wie Schweiß oder Urin zu unzuverlässigen Resultaten führen können.

Tabelle 1 fasst die Vorgehensweise der Rechtsmedizin bei der Probensicherung (Abb. 1) zusammen [1, 2, 7].

Der Sicherstellung der Haarprobe kommt – zumindest im forensischen Bereich – zentrale Bedeutung zu. Dies zeigt sich sehr deutlich auch bei den vor allem im an-

gelsächsischen Raum fest etablierten «Workplace Drug Testing»-Verfahren. Diese definieren sehr ausführlich Richtlinien für die Sicherstellung der Haarprobe mit einer lückenlosen Beweiskette [8].

Analytik

Nach der Asservation gelangen die Haarproben in die Präanalytik. Dort werden sie identifiziert, beschrieben (evtl. fotografiert) und je nach Fragestellung segmentiert. Die Haarbüschel resp. die einzelnen Segmente werden mehrstufig gewaschen und nach dem Trocknen zerkleinert oder homogenisiert. Die Waschlösungen sollten aufbewahrt werden.

Danach werden als Erstes die interessierenden Stoffe aus dem Haar extrahiert. Die Probe wird dabei im Extraktionsmittel permanent geschüttelt oder geschwenkt, gegenüber Ultraschall ausgesetzt oder bei höherer Temperatur inkubiert. Zur Detektion werden GC-MS (Gaschromatographie-Massenspektrometrie), GC-MS/MS oder LC-MS/MS (Liquid-Chromatographie-Massenspektrometrie/Massenspektrometrie) eingesetzt, die für Drogen und Medikamentenwirkstoffe eine sub-

Am besten geeignet für eine Haaranalyse sind die Kopfhaare. Bei sehr kurzen Haaren oder kosmetisch behandelten Haaren sollten auch Brust- oder Barthaare oder Haare der Extremitäten asserviert werden.

stanzspezifische Identifizierung und Quantifizierung erlauben; vereinzelt sind auch immunchemische Verfahren für bestimmte Stoffe resp. Stoffgruppen möglich. In der Metallanalytik werden die Haare vollständig aufgeschlossen und anschliessend zumeist mittels ICP-MS (inductively coupled plasma mass spectrometry) oder ICP-OES (inductively coupled plasma optical emission spectrometry) analysiert.

Selbstredend sind nur validierte Verfahren zulässig, und es ist grundsätzlich wünschenswert, dass das Labor akkreditiert ist oder ein entsprechendes Managementprotokoll implementiert hat. Solche Qualitätsregelungen verlangen zudem die regelmässige Teilnahme an Interlaborvergleichen und Ringversuchen. Als interne Qualitätskontrollen (Negativ- und Positivkontrollen) und zur Kalibration werden reale Haarproben gebraucht.

Alkohol, Drogen und Medikamente

Der Nachweis von Drogen und Medikamentenwirkstoffen im Haar ist ein Standardverfahren, das seit vielen Jahren in der Forensik zur Anwendung kommt. Eine Zusammenstellung der wichtigsten Stoffe, auf die bei Verdacht auf Drogenkonsum geprüft wird, findet sich zum Beispiel bei Baumgartner MR, 2011 [7].

Tabelle 1: Vorgehensweise bei der Probensicherung einer Haaranalyse.

Überprüfung der Identität des Probanden und der Einverständniserklärung
Abschneiden von mindestens zwei Haarbüscheln von der Hinterhauptregion in genügender Dicke (zwischen Strohhalm- und Bleistiftstärke) und genügender Menge (mindestens 30 mg pro Haarsegment). In der Hinterhauptregion variiert die Wachstumsrate am wenigsten
Büschel mit Faden zusammenbinden
Direkt an der Kopfhaut abschneiden
Kopfnahes Ende kennzeichnen
Länge der am Kopf verbliebenen Stoppeln schätzen
Proben eindeutig kennzeichnen
Beschreibung der Haare (Entnahmeort, Farbe, Länge, kosmetische Auffälligkeiten, evtl. Fotografie)
Sichere und gegen Feuchtigkeit dichte Verpackung und Aufbewahrung an einem dunklen Ort bei Raumtemperatur
Dokumentation des Asserveurs

Seit etwa zehn Jahren kann auch das Alkoholtrinkverhalten mittels Haaranalyse retrospektiv erfasst werden. Dazu werden in den Haaren die beiden direkten Alkoholmarker Ethylglucuronid (EtG) und Fettsäureethylester (FAEE) quantifiziert. Diese Marker enthalten die C2-Einheit des Trinkalkohols (Ethylalkohols), weshalb ihr Nachweis beweisend für das Vorhandensein von Ethanol ist.

Interpretation der Ergebnisse

Der wesentliche Punkt forensischer Haaranalysen ist die Interpretation. Deshalb werden seit vielen Jahren von verschiedenen Standesorganisationen und wissenschaftlichen Fachgruppierungen Empfehlungen und Richtlinien herausgegeben und regelmässig nach dem neuesten Stand des Wissens überarbeitet [1, 2, 8, 9]. Besonders wichtig ist dabei die Bestimmung folgender Werte oder Definitionen:

- Cutoff-Werte: Positiv-Negativ-Entscheidungsgrenzwert; ein positiver Analysewert beweist die Einnahme oder Einlagerung eines bestimmten Wirkstoffes. Zudem wird in der Regel festgelegt, für welche maximale Segmentlänge ein bestimmter Cutoff-Wert gilt, da bereits durch normale Haarpflege mit der Zeit ein Teil der eingelagerten Stoffe ausgewaschen werden kann.
- Metaboliten-Verhältnisse: Der Nachweis bestimmter Stoffwechselprodukte im Haarextrakt kann zur Bestätigung der Substanzeinnahme und zur Differenzierung zwischen Einlagerung nach Inkorporation (Ingestion, Inhalation, transdermale, intravenöse oder intramuskuläre Aufnahme etc.) und externer Kontamination (Rauch, Pulverrückstände) herangezogen werden.

Haaranalytische Ergebnisse sind immer ein Durchschnittswert über den untersuchten Zeitraum.

Eine Korrelation der eingenommenen Wirkstoffdosis und der ins Haar eingelagerten Stoffmenge ist nur für wenige Substanzen gut dokumentiert. Die positiven Analyseergebnisse werden deshalb beispielsweise mit den folgenden Abstufungen berichtet:

1. Wirkstoffeinnahme beweisen;
2. Einstufung der Konzentration in einem unteren/mittleren/oberen Bereich;
3. Hinweis auf mögliches Konsumverhalten.

Haaranalytische Ergebnisse sind immer ein Durchschnittswert über den untersuchten Zeitraum; ob dieser durch regelmässige, zum Beispiel tägliche Einnahme oder durch episodische Konsumexzesse zustande kommt, kann nicht bestimmt werden. Allenfalls kann eine segmentweise Untersuchung mit entsprechend

grossen Analyseaufwand zur Klärung beitragen. Dies wird beispielsweise in sogenannten K.O.-Tropfen-Fällen durchgeführt.

Eine zentrale Bedeutung kommt der forensischen Haaranalytik zu, bei der Überprüfung des Trinkverhaltens oder des Drogen- und Medikamentenkonsums in Fahreignungsabklärungen und zur Kontrolle von Abstinenzauflagen. Nach dem Absetzen eines Substanzkonsums, das heisst bei Beginn der Karenz, sind die nachwachsenden Haare nicht sofort substanzfrei. Zum einen dauert es etwa 10–14 Tage, bis die neugebildeten Haare ohne Einlagerung die Kopfhaut erreichen, zum anderen enthält ein Haarbüschel wie erwähnt immer einen gewissen Anteil an telogenen Haaren, die einem länger zurückliegenden Zeitraum entsprechen. Dies führt dazu, dass die Konzentration in einem Haarbüschel kontinuierlich abnimmt; empirische Werte belegen etwa einen Faktor 2–3 pro Monat, je nach Segmentlänge.

Bei der Interpretation der Haaranalysebefunde ist eine ganze Reihe von relevanten Faktoren zu berücksichtigen. In der Regel sind diese Ergebnisse Teil einer Begutachtung, zum Beispiel bei der Wiedererlangung nach Entzug des Führerscheins oder beim Verdacht einer Suchterkrankung mit Substanzmissbrauch. Hier muss deutlich darauf hingewiesen werden, dass diese Laborbefunde zwar ein wesentlicher Teil der Begutachtung sind, aber trotzdem nie alleine für die Befundung verwendet werden sollen.

Metalle und Spurenelemente

Der hohe Stellenwert der Haaranalytik zum Nachweis eines möglichen Drogen-, Medikamenten- oder Alkoholkonsums lässt die Frage aufkommen, ob diese Art der Analytik sich nicht genauso gut für Abklärungen einer Metallbelastung bzw. der Spurenelementversorgung eignet. Diese Untersuchungen werden unter dem Begriff der Haarmineralanalytik in den letzten Jahren zunehmend angeboten und offensiv beworben.

So wenden sich immer wieder Patienten, die Umweltverschmutzung, Belastungen am Arbeitsplatz, Lebensmittel oder eine Unterversorgung mit Spurenelementen als Ursache ihrer Beschwerden vermuten, mit der Bitte um Haaranalysen an ihre Apotheke, ihren Arzt oder an ein Analyselabor. Auffallend ist dabei das breite Spektrum der zur Untersuchung kommenden Parameter, das einen grossen Teil des Periodensystems der chemischen Elemente abdeckt. Es handelt sich hier häufig um ein Multielement-Screening und nicht um eine gezielte Analyse.

Grundsätzlich sind in der Praxis die gleichen Punkte wie bei der Drogen-, Medikamenten- oder Alkohol-

Haaranalytik zu beachten [10]. Anders als bei dieser etablierten Haaranalytik gibt es jedoch bei der Haarmineralanalyse weitere und weitreichende Einschränkungen in der Aussagekraft. Auf diese wird im Folgenden detailliert eingegangen.

Differenzierung zwischen endogenen und exogenen Faktoren

Eine externe Kontamination von Haaren kann mit Metallen und Spurenelementen prinzipiell jederzeit stattfinden. Diese kann über die Luft, Wasser (Leitungswasser, Regenwasser, Badewasser usw.) und Kosmetika erfolgen. Für die bei der Haarmineralanalyse zur Untersuchung kommende Vielzahl von Parametern gibt es eine unüberschaubare Anzahl von potentiellen Kontaminationsquellen und -pfaden. Auch das Wasch- und Reinigungsverfahren in der Präanalytik selbst kann zu einer Kontamination führen [11, 12]. Trotz intensiver

Die Haarmineralanalyse wird zur Beurteilung der individuellen Belastung mit Metallen wie auch Versorgung mit Spurenelementen allgemein abgelehnt.

wissenschaftlicher Arbeiten sind bisher keine anerkannten standardisierten Wasch- und Reinigungsverfahren analog der Drogen-, Medikamenten- oder Alkohol-Haaranalytik publiziert worden. Exogene Metallionen können bis tief in die Haarsubstanz eindringen [13]. Daher scheint das Problem der externen Kontamination grundsätzlich nicht alleine durch Haarreinigungsverfahren lösbar zu sein. Die einzige derzeit bekannte Möglichkeit, den endogenen und exogenen Anteil zu differenzieren, liegt in der Speziesanalytik, das heisst der Analyse der verschiedenen Bindungsformen eines Elements. Dies ist jedoch nur bei einigen wenigen Elementen überhaupt möglich. Beim Quecksilber kann man beispielsweise davon ausgehen, dass in Haaren gefundenes Methylquecksilber fast ausschliesslich aus dem Verzehr von Fischprodukten stammt [14]. In vielen kommerziellen Angeboten zur Haarmineralanalyse ist eine solche Speziation jedoch nicht vorgesehen.

Korrelation des Elementgehalts in den Haaren mit klinischen Effekten

Um vom Elementgehalt in Haaren auf eine individuelle körperliche Belastung bzw. Versorgung zu schliessen, sollte eine Korrelation zwischen dem Gehalt in Haaren und den Konzentrationen in Blut, Urin oder möglichen Zielorganen vorliegen. Eine solche Korrelation ist bisher jedoch nur für Methylquecksilber und für organische Bleiverbindungen hergeleitet worden. Aufgrund der fehlenden Korrelation zwischen Elementgehalt in Haaren und Elementkonzentrationen in

anderen Körperkompartimenten ist es nicht überraschend, dass die Datenlage bezüglich klinischer Effekte äusserst lückenhaft ist und Konzentrations-Wirkungs-Beziehungen fehlen. Es ist also nicht bekannt, bei welchen Elementgehalten der Haare mit welchen klinischen Auswirkungen zu rechnen ist. Dies führt unter anderem dazu, dass es keine allgemein anerkannten Referenz- oder Beurteilungswerte gibt. Die kommerziellen Anbieter zur Haarmineralanalyse verwenden jeweils eigene Referenzwerte. Dabei handelt es sich in der Regel nicht um eigentliche Grenzwerte, oberhalb bzw. unterhalb deren mit unerwünschten Wirkungen gerechnet werden muss, sondern um eine bestimmte Perzentile eines im Labor untersuchten Kollektivs, das nicht notwendigerweise repräsentativ für die Allgemeinbevölkerung ist. Es ist wichtig, dass dies dem Patienten korrekt mitgeteilt wird, damit dieser das Ergebnis richtig einordnen kann.

Nicht unerwähnt bleiben soll, dass diese statistische Ermittlung von Referenzwerten eine gängige Praxis in der Labormedizin für eine gezielte Analyse (targeted analysis) ist. Für Multielement-Screening-Untersuchungen wie bei der Haarmineralanalyse kommt es aufgrund der Multiplizität (jeder Parameter ist für sich ein Test) zu einem grossen statistischen Typ-1-Fehler. Je mehr Parameter untersucht werden, desto grösser ist die Wahrscheinlichkeit für eine zufällige (also nicht vorhandene) Abweichung vom entsprechenden Referenzwert: Geht man bei der Ermittlung eines Referenzwerts von einem Konfidenzniveau von 95% aus, bedeutet das bei der Bestimmung von 30 Parametern eine 79%ige Wahrscheinlichkeit ($x = 1 - 0,95^{30}$), ein falsches positives Resultat zu erhalten.

Qualitätssicherung

Um einen gewissen Standard in der Laboranalytik zu gewährleisten, gibt es internationale Normen, die über eine nationale Akkreditierung überwacht werden. Im Bereich der medizinischen Diagnostik sind das die ISO/IEC 17025 und ISO 15189. Es fällt auf, dass die Haarmineralanalyse der kommerziellen Anbieter häufig nicht im akkreditierten Bereich durchgeführt wird. Mehrere Studien haben in der Vergangenheit gezeigt, dass die Ergebnisse kommerzieller Anbieter in der Haarmineralanalytik nicht miteinander vergleichbar waren und dieselbe Probe sogar im selben Labor zu unterschiedlichen Ergebnissen führte [15–18]. Die fehlende Reproduzierbarkeit der Resultate lässt auf eine ungenügende Qualitätssicherung schliessen.

Fazit zur Haarmineralanalyse

Aufgrund der oben genannten Einschränkungen wird die Haarmineralanalyse zur Beurteilung der individu-

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

ellen Belastung mit Metallen oder Versorgung mit Spurenelementen allgemein abgelehnt [19–23]. Ausnahmen sind die Bestimmung von Arsen bei einer Belastung mit anorganischen Arsenverbindungen, Blei bei einer Belastung mit organischen Bleiverbindungen und Methylquecksilber nach Konsum von Fischprodukten. Bei Verdacht auf eine amalgambedingte Quecksilberbelastung ist die Haaranalyse wiederum nicht geeignet, da es sich dabei nicht um Methylquecksilber, sondern um eine Belastung mit anorganischen Quecksilberverbindungen handelt. *Cave:* Auch bei den genannten Ausnahmen kann eine atmosphärische Exposition einen erheblichen exogenen Beitrag liefern (externe Kontamination).

Des Weiteren kann die Haarmineralanalyse bei epidemiologischen und historischen Studien oder bei Verlaufsuntersuchungen bei derselben Person eine Anwendung finden [24]. Voraussetzung sind validierte Methoden, eine zuverlässige Qualitätssicherung und die Beurteilung durch Fachpersonen mit den notwendigen spezifischen Kenntnissen und Erfahrungen. Darüber hinaus ist jedoch immer abzuwägen, inwieweit Blut, Urin oder andere Körperkompartimente eine zuverlässigere Aussage ermöglichen würden.

Das Wichtigste für die Praxis

- Die Haaranalytik hat sich in der Rechtsmedizin als unverzichtbare und verlässliche Methode etabliert, wobei zwingend auf ein korrektes Vorgehen von der Probenahme bis zur Qualitätssicherung im analytischen Labor zu achten ist (Chain of Custody).
- Richtlinien oder Empfehlungen, die international anerkannt sind, bestehen für Drogen-, Medikamenten- oder Alkohol-Haaranalysen.
- Es bestehen vielversprechende Ansätze für neue Anwendungen im klinischen Alltag und in der Umwelttoxikologie, die sich jedoch noch im experimentellen Stadium befinden.
- Trotz intensiver wissenschaftlicher Forschung kann aus der Haarmineralanalytik nur in Ausnahmefällen auf Belastungen oder Mangelerscheinungen des Körpers geschlossen werden. Die vielen grundlegenden Einschränkungen und Unsicherheiten erlauben häufig keine gesicherte diagnostische Verwendung.
- Die Verwendung laborspezifischer, statistisch ermittelter Referenzwerte in Kombination mit einem Multielement-Screening birgt die Gefahr von falsch positiven Resultaten.
- Eine zuverlässige Diagnosestellung ist von grosser Wichtigkeit, da (unnötige) Entgiftung wie auch Supplementationstherapien langwierig, kostspielig und mit unerwünschten Wirkungen behaftet sein können und die wahre Ursache einer Erkrankung verpasst werden könnte [33, 34].

Ausblick

Im klinischen Alltag öffnen sich neue Fenster für Anwendungen der Haaranalytik, zum Beispiel zum retrospektiven Monitoring des Alkohol-, Medikamenten- und Drogenkonsums vor schweren Operationen [25, 26]. Im therapeutischen Bereich, beispielsweise bei Entwöhnungsprogrammen, wird das begleitende Monitoring mittels Haaranalyse kaum angewendet. In der Regel werden dazu regelmässige Blut- oder Urintests durchgeführt, was bei engmaschiger Begleitung eine häufige Probenahme zur Folge hat. Vereinzelt wird aber bereits heute zum Beispiel im Rahmen von Opioid-Substitutionsprogrammen ein Langzeitmonitoring mit Haaranalysen statt dieser Stichprobenkontrollen eingesetzt. Mittelfristig an Bedeutung gewinnen dürfte das prospektive, begleitende Patientenmonitoring mittels Haaranalyse, das insbesondere bei Dauermedikation im Sinne eines Compliance-Monitorings gewisse Vorteile zum Beispiel beim Aufwand für Laboranalysen und der Ungebundenheit des Patienten haben dürfte [27]. Eine erste klinische Anwendung ist für das Immunsuppressivum Ciclosporin A publiziert [28]. Mit einer grösseren Anzahl von Studien konnte der Nachweis des Stresshormons Cortisol in Haaren für unterschiedliche Fragestellungen dokumentiert werden [29, 30].

Ein ganz junges Gebiet der Haaranalytik ist der Einsatz in der Umwelttoxikologie für organische Umwelttoxine [31, 32]. Die zentralen Fragen sind dabei wiederum, welche Stoffe bzw. Abbauprodukte ins Haar eingelagert und zerstörungsfrei wieder herausgelöst werden können, und ab welchen Grenzwerten die gemessenen Konzentrationen relevant sind. Der Nachweis von im Haar eingelagerten, leichtflüchtigen Stoffen wie zum Beispiel Formaldehyd wurde bisher nicht erbracht. Anders sieht es bei einer Reihe von Pestiziden aus. Diese Forschungsergebnisse müssen aber erst in weiteren Studien bestätigt und ihre Signifikanz belegt werden.

Disclosure statement

Die Autoren haben keine finanziellen oder persönlichen Verbindungen im Zusammenhang mit diesem Beitrag deklariert.

Titelbild

© Albund | Dreamstime.com

Literatur

Die vollständige nummerierte Literaturliste finden Sie als Anhang des Online-Artikels unter www.medicalforum.ch.

Literatur

1. 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.
2. 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: Bestimmung von Drogen und Medikamenten in Haarproben (2014); http://www.sgrm.ch/uploads/media/EtG_FINAL_2014.pdf: Bestimmung von Ethylglucuronid in Haarproben (2014).
3. 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.
4. 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.
5. de Perio M, Durgam S. Evaluation of Antimony and Mercury Exposure in Fire Fighters. *Health Hazard Evaluation Report*. 2009;2009(0025).
6. 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.
7. Baumgartner MR. Nachweis des Konsums von psychotropen Substanzen und Alkohol mittels Haaranalyse. *Therapeutische Umschau*. 2011;68(5):269–72.
8. <http://www.ewdts.org/data/uploads/documents/ewdts-guideline-hair-v2.o.pdf>: European Guidelines for Workplace Drug and Alcohol Testing in Hair (2015).
9. <http://store.samhsa.gov/shin/content/SMA12-4668/SMA12-4668.pdf>: Clinical drug testing in primary cases (2012).
10. Rauscher J. Qualitätssicherung in der Haarmineralstoff- und Schwermetallanalyse. *Z. Umweltmedizin* 2003;3:142–4.
11. 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.
12. 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.
13. Kijewski H. Die forensische Bedeutung der Mineralstoffgehalte in menschlichen Kopfharen. 1993. Schmidt-Römhild, Lübeck.
14. 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.
16. Drasch G, Roeder G. Assessment of hair mineral analysis commercially offered in Germany. *J Trace Elem Med Biol*. 2002;16:27–31.
17. 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.
18. test. Stiftung Warentest. An den Haaren herbeigezogen. 2004;10:86–90.
19. Bekanntmachung des Umweltbundesamtes. Haaranalyse in der Umweltmedizin. Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz. 2005;48(2):246–50.
20. 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.
22. Aetna. Hair Analysis. *Clinical Policy Bulletin*. 2015.
23. Kempson IM, Lombi E. Hair analysis as a biomonitor for toxicology, disease and health status. *Chem Soc Rev*. 2011;40(7):3915–40.
24. Kohler M, Wahl C, Baumgartner M, Imoberdorf R. Wie lautet Ihre Diagnose. *Therapeutische Umschau*. 2000;57(3):173–4.
25. 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.
26. 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.
27. Binz TM, Baumgartner MR: Haaranalyse zum retrospektiven und prospektiven Konsum-Monitoring: Substanzmissbrauch, Abstinenz- und Compliancekontrolle. *Praxis*. 2016;105(1):17–21.
28. 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.
29. 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.
30. 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.
31. 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.
32. Hardy EM, Duca RC, Salquebre G, Appenzeller BM. Multi-residue analysis of organic pollutants in hair and urine for matrices comparison. *Forensic science international*. 2015;249:6–19.
33. Amster E, Tiwary A, Schenker MB. Case Report: potential arsenic toxicosis secondary to herbal kelp supplement. *Environ Health Perspect*. 2007;115(4):606–608.
34. Vogel I. Nach dem Haartest: Pillen für 1900 Franken. *Gesundheittipp*. 2011;1. 18. Januar 2011.