

文章编号: 1006-446X(2003)04-0001-17

# 指甲元素分析的生物学基础及医学应用

秦俊法

(中国科学院上海原子核研究所, 上海 201800)

**摘 要:** 指甲和头发均为皮肤附属物, 它们有类似的元素谱特征, 但又有所不同。指甲元素和头发元素反映不同时间尺度内的身体元素状况, 指甲元素分析和头发元素分析可互为补充。本文从指甲的结构和成分、指甲的元素谱特征, 以及指甲元素分析的医学应用等三个方面论述了揭示主题。附 16 表、5 图和 30 篇参考文献。

**关键词:** 指甲; 微量元素; 重金属暴露监督; 疾病诊断

**中图分类号:** R 446.69 **文献标识码:** A

指甲, 又名手指甲(《日华子本草》)、人退(《眼科龙木论》)、爪甲或筋退(《本草纲目》)、人指甲(《中药大辞典》)。性平、味甘咸, 具有祛瘀血、清翳障功效, 主治鼻衄、尿血、喉蛾、目生翳障、中耳炎。临床也用于治疗“鸡爪风”, 即手足抽搐症。

指甲是皮肤的附属物, 但与脏腑之间有着密切的联系。按中医藏象理论, 指甲与肝、胆关系最为密切。肝, 其华在爪, 其充在筋, 开窍于目。李时珍曰: 爪甲者, 筋之余, 胆之外候也。《灵枢》云: 肝应爪, 爪厚色黄者胆厚, 爪薄色红者胆薄; 爪坚色青者胆急, 爪软色赤者胆缓; 爪直色白无纹者胆直, 爪恶色黑多纹者胆结。故指甲向来被称为“指示体质的窗户”、“反映健康的镜子”。指甲入药始于唐朝(《本草拾遗》), 指甲诊病则始于宋代(《道藏辑要》)。现代医学实践证明, 根据指甲形态和色彩可以诊断许多疾病(王文华, 1991), 根据指甲元素成分变化可以监督环境和职业金属暴露和营养摄入, 亦有可能筛选或诊断疾病。本文概述了指甲元素分析的生物学基础及指甲元素分析医学应用现状。

## 1 指甲元素分析的生物学基础

### 1.1 指甲的形成和结构

指甲由角化上皮细胞组成, 它来自于胚胎时期的外胚层, 在胚胎的第 10 周时, 指甲在指端的尖端开始发生, 手指甲早于足指甲(趾甲)。首先是各指端的背侧细胞增厚, 约三、四层, 名甲区, 其细胞向近侧端的真皮内伸入, 形成甲基质(甲母质)。甲区的近侧及两外侧都被甲褶所包围。由甲母质分生的扁平细胞密集角化后开始向指端推进, 伸展于表皮层内面, 使指甲的上下两面皆有表皮覆盖。位于上面的甲上皮至第 8 个月后断裂, 指甲开始暴露, 且具有明显的弯曲。下面的甲下皮则成为甲床的生发层, 它和真皮共同构成甲床。甲上皮过渡到甲后褶表皮上, 甲下皮则过渡到指末端的表皮上。

收稿日期: 2003-03-01

由上可知，完整意义上的指甲可分为甲板 and 指甲单元两部分。指甲单元由 4 种结构组成，即近端甲褶、甲床、甲母质和甲下皮，这些结构合起来构成并支撑着通常所称的指甲——甲板。甲板是遮盖手指（或脚趾）末节背面的角质板，其长短、宽窄大体同手指（或脚趾）末节相当，约占第三指骨的一半。甲床牢固地附着于骨膜上，起承托指甲的作用。甲板的前缘（末端）游离，称指甲尖，后缘隐蔽在皮肤深处，称为甲根。指甲的前缘称远端，靠甲根的一端称近端。甲板的外露部分除游离缘外，其余三边周围皮肤隆起如峭，称甲襞。甲襞与甲床之间的沟状下陷称为甲沟，甲板的外侧（尺侧）和内侧（桡侧）在甲沟处与甲襞相接。甲板近甲根处有一白色半月形区域，称为弧影，又称小月亮或健康圈。甲根下方的甲床特别厚，即是甲母质（图 1）。

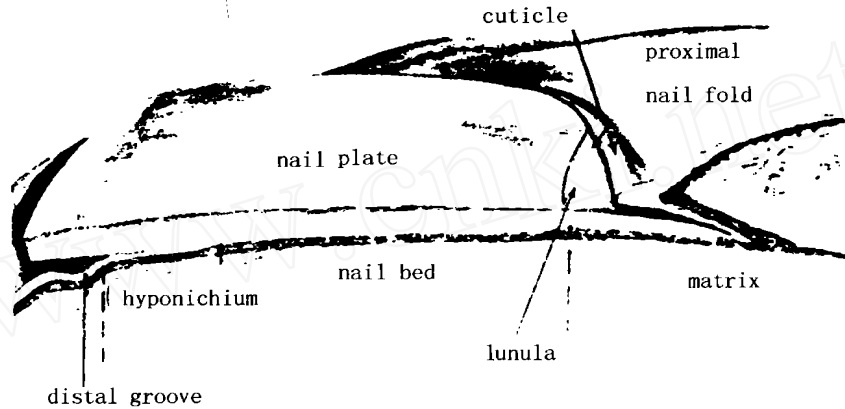


图 1 指甲的纵向切面图

nail plate 甲板, nail bed 甲床, matrix 甲母质, cuticle 甲小皮,  
lunula 甲弧影, proximal nail fold 近端甲襞, distal groove 远端甲沟

## 1.2 指甲生长的营养及调节

指甲的营养从指甲单元获取，而布满指端的神经则对指甲生长起调节功能。

在各指甲单元中，甲母质含有丰富的血管和神经，指端桡侧和尺侧的指掌固有动、静脉在指末端构成指端血管网，其中包括动脉毛细血管网、静脉血管网和毛细淋巴网。因而血液和淋巴液构成了指甲生长的主要营养来源，血液成分和淋巴液成分也就成为指甲的主要成分。

指端的神经主要有正中神经、尺神经和桡神经。在拇指、食指及中指指尖的皮区，由正中神经的皮支支配；在无名指指尖的皮区，由正中神经和尺神经的皮支混合支配；小指指尖的皮区则由尺神经支配。

中医认为，气血是维持人体生命活动的最基本的物质，而经络是气血运行和输布的主要通道。指端是经络的出发点和归宿，在十二经脉中，“手之三阴，从脏走手，手之三阳，从手走头；足之三阳，从头走足；足之三阴，从足走腹”（《灵枢 逆顺肥瘦》），具体走向见表 1。

表 1 十二经脉分布部位简表

	十二经脉	走 向
手 三 阴	手太阴肺经	胸旁 上肢内侧前 大指
	手厥阴心包经	乳房 上肢内侧中 中指
	手少阴心经	腋下 上肢内侧后 小指
手 三 阳	手阳明大肠经	食指 上肢外侧前 肩前 鼻旁
	手少阳三焦经	无名指 上肢外侧中 肩后 眉梢
	手太阳小肠经	小指 上肢外侧后 肩胛 颈 耳前
足 三 阳	足阳明胃经	目下 颈前 下肢外侧前 次趾
	足少阳胆经	目外眦 颈侧 下肢外侧中 第四趾
	足太阳膀胱经	目内眦 颈后 下肢外侧后 小趾
足 三 阴	足太阴脾经	大趾内 下肢内侧前、中 胸腹第三侧线
	足厥阴肝经	大趾外 下肢内侧中、前 阴部 胁部
	足少阴肾经	小趾下 足心 下肢内侧后 胸腹部

### 1.3 指甲的生长速度

指甲的正常生长速度在 1.9 ~ 4.4 mm/月, 有明显的个体差异, 但同一家庭成员间变化不大 (Hamilton J B, 1955)。一般认为, 在以指甲推断时间时, 可采用 0.1 mm/d 或 3 mm/月计算。趾甲的生长速度大约是指甲的一半或三分之一, 正常指甲完成生长大约 6 个月左右, 而趾甲则需 12 ~ 18 个月 (Samnan P D, 1978)。指甲拔除后新指甲的生长速度相对较快, 对任何个体而言, 指甲的生长速度与手指的长度成比例, 优势手生长较快。男性快于女性。妊娠、咬指甲、气候温暖时生长较快, 银屑病患者以及甲松离患者的指甲生长也较快, 但麻痹、僵直、循环降低、营养不良、黄甲综合症, 以及夜间、授乳、急性炎症和抗有丝分裂药治疗期, 指甲的生长速度低于正常健康人 (Fleckman P, 1985)。在人的一生中, 10 ~ 14 岁时指甲生长最快, 20 岁后生长速度随增龄而降低, 有人连续 30 年观察自己拇指的生长, 32 岁时平均为 0.123 mm/d, 61 岁时则为 0.100 mm/d, 表明生长速度随衰老而减慢 (Bean W B, 1974)。

## 2 指甲的元素谱特征

### 2.1 指甲中的微量元素

1978 年, Iyengar 调查了 38 篇有关指甲元素分析的文献, 发现用各种方法可检测到指甲中的 42 种元素。2000 年, Rodushkin 用双聚焦扇形场 ICP-MS 测出了指甲中的 71 种元素。因此, 目前知道指甲中至少存在 74 种天然元素, 这些元素是: 银 (Ag)、铝 (Al)、砷 (As)、金 (Au)、硼 (B)、钡 (Ba)、铍 (Be)、铋 (Bi)、溴 (Br)、碳 (C)、钙 (Ca)、镉 (Cd)、铈 (Ce)、氯 (Cl)、钴 (Co)、铬 (Cr)、铯 (Cs)、铜 (Cu)、镝 (Dy)、铁 (Fe)、铕 (Eu)、铈 (Er)、镓 (Ga)、钆 (Gd)、锗 (Ge)、氢 (H)、铪 (Hf)、汞 (Hg)、铥 (Ho)、碘 (I)、铱 (Ir)、钾 (K)、镧 (La)、锂 (Li)、镥 (Lu)、镁 (Mg)、锰 (Mn)、钼 (Mo)、氮 (N)、钠 (Na)、铌 (Nb)、钆 (Nd)、镍 (Ni)、氧 (O)、磷 (P)、铅 (Pb)、钯 (Pd)、镨 (Pr)、铂 (Pt)、铷 (Rb)、铈 (Re)、

铈 (Rh)、钌 (Ru)、硫 (S)、锑 (Sb)、钪 (Sc)、硒 (Se)、硅 (Si)、钐 (Sm)、锡 (Sn)、锶 (Sr)、钽 (Ta)、铽 (Tb)、碲 (Te)、钍 (Th)、铪 (Tm)、钛 (Ti)、铌 (Nb)、铀 (U)、钒 (V)、钨 (W)、钇 (Y)、镱 (Yb)、锆 (Zr)、锌 (Zn)。

## 2.2 指甲元素与头发元素的含量比较

指甲和头发都是皮肤的附属组织, 对同一人群的测定结果表明, 指甲元素含量与头发元素含量接近 (表 2), 而与血液元素含量差异较大 (表 3)。瑞典居民的指甲元素含量见表 4。

表 2 指甲元素与头发元素的含量比

含量比	元 素
< 1	B, Br, Ca, Cu, Hg, I, S, Sr, U, Zn
1 ~ 2	Ag, Be, Cd, Cl, Ge, Mn, Mo, Na, Pb, Re, Ru, Se, Su, Te, Y
2 ~ 4	As, Au, Ba, Bi, Co, Hf, K, La, Mg, Ni, P, Pt, Rb, Sb, Si, Ta, Tl, V, Zr
4 ~ 6	Al, Ce, Fe, Ga, Li, Rh, Sc, Ti, W
6 ~ 11	Cr, Cs, Ir, Nb, Pd, Th

注: 指甲和头发的含量单位均为  $\mu\text{g/g}$ 。

表 3 头发元素与血液元素的含量比

含量比	元 素
< 1	Fe, Rb, Na, Cl, Cs, P, K
1 ~ 10	Mg, Ba, Br, Se, Li, Ca, I, Hf
10 ~ 100	Si, Be, Th, Tl, Re, Zn, Cu, Pt, Ir, Mo, Zr, As, Mn, Sc, Nb, Pb, B, Sb, Sr, Ga
100 ~ 1000	Ta, Hg, Co, W, Ni, Y, Al, Cr, Cd, Sn, V, REE, Ti
> 1000	Au, Bi, Ag, U

注: (1) 头发元素含量单位  $\mu\text{g/g}$ , 血液元素含量单位为  $\text{mg/L}$ ;

(2) REE 为稀土元素, 包括: La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu。

## 2.3 指甲元素含量与年龄的关系

Rodushkin (2000) 在瑞典 1 ~ 76 岁居民的指甲元素谱分析中发现, 只有少数几个元素的含量与年龄有依赖关系, 其中锌含量在儿童期随增龄增加, 而后保持在相对稳定的水平上; 汞在 20 ~ 25 岁前保持相对稳定, 25 ~ 60 岁间呈中等程度增加趋势, 而后迅速增高; 钍、铝、钛和稀土元素在 2 ~ 7 岁间呈现确定的高峰, 土壤产生的污染是指甲中这些元素增高的最可能来源, 钍含量在 40 岁左右最低, 50 岁后又增加趋势 (图 2); 金和铂在 1 ~ 10 岁和 41 ~ 60 岁间有最高含量, 这可能与这一年龄段的瑞典人普遍佩戴珠宝有关; 钼在最低年龄组有最高含量, 而钙和锶则是儿童期含量最低 (图 3)。与 Chaudhary (1995) 相反, Rodushkin 没有发现指甲中溴、钴、铬、钠、铁、锑含量与年龄有相关关系。

## 2.4 指甲元素含量与性别的关系

Rodushkin (2000) 在所测定的 71 种元素中, 与性别有关的指甲元素 ( $P < 0.01$ ) 仅有 6 种 (表 5), 其中钠、镁、钾含量是男性高于女性, 而金、铋、硅则是女性高于男性。Craudhary (1995) 也发现金、钠、钾有类似的性别差异。

表 4 指甲元素与头发元素含量比较 (单位:  $\mu\text{g/g}$ )

元 素	头发 ( $n = 114$ )	指甲 ( $n = 96$ )	指甲/头发
Ag	0.231	0.294	1.273
Al	8.20	36.0	4.390
As	0.085	0.269	3.165
Au	0.030	0.074	2.467
B	0.670	0.810	0.867
Ba	0.640	1.34	2.094
Be	0.0013	0.0018	1.385
Bi	0.019	0.059	3.105
Br	37.0	23.0	0.622
Ca	750	670	0.893
Cd	0.058	0.11	1.966
Ce	0.039	0.22	5.769
Cl	8600	8700	1.012
Co	0.013	0.035	2.692
Cr	0.17	1.16	6.946
Cs	0.0007	0.0041	6.119
Cu	25.0	8.40	0.336
Fe	9.60	42.0	4.375
Ga	0.0025	0.014	5.600
Ge	0.0046	0.0086	1.870
Hf	0.0054	0.020	3.704
Hg	0.261	0.122	0.467
I	0.680	0.285	0.419
Ir	0.00003	0.00029	9.667
K	81.0	210	2.593
La	0.035	0.12	3.429
Li	0.017	0.073	4.294
Mg	46.0	100	2.174
Mn	0.56	0.90	1.607
Mo	0.042	0.059	1.405
Na	147	240	1.633
Nb	0.0019	0.016	8.421
Ni	0.430	1.65	3.837

表 4 (续)

元 素	头发 ( $n = 114$ )	指甲 ( $n = 96$ )	指甲/头发
P	133	335	2.519
Pb	0.960	1.38	1.438
Pd	0.00032	0.0021	6.563
Pt	0.00015	0.00031	2.067
Rb	0.093	0.303	3.258
Re	0.000037	0.000052	1.405
Rh	0.00002	0.00010	4.169
Ru	0.000028	0.000035	1.250
S	42700	33000	0.692
Sb	0.022	0.053	2.409
Sc	0.0014	0.0084	6.000
Se	0.83	0.94	1.133
Si	33.0	71.0	2.152
Sn	0.32	0.63	1.969
Sr	1.20	0.43	0.358
Ta	0.0044	0.017	3.864
Te	0.00034	0.00062	1.824
Th	0.0013	0.014	10.769
Ti	0.83	4.46	5.373
Tl	0.00061	0.0019	3.115
U	0.057	0.017	0.298
W	0.0053	0.022	4.151
V	0.027	0.079	2.926
Y	0.023	0.033	1.435
Zn	142	120	0.845
Zr	0.16	0.57	3.677

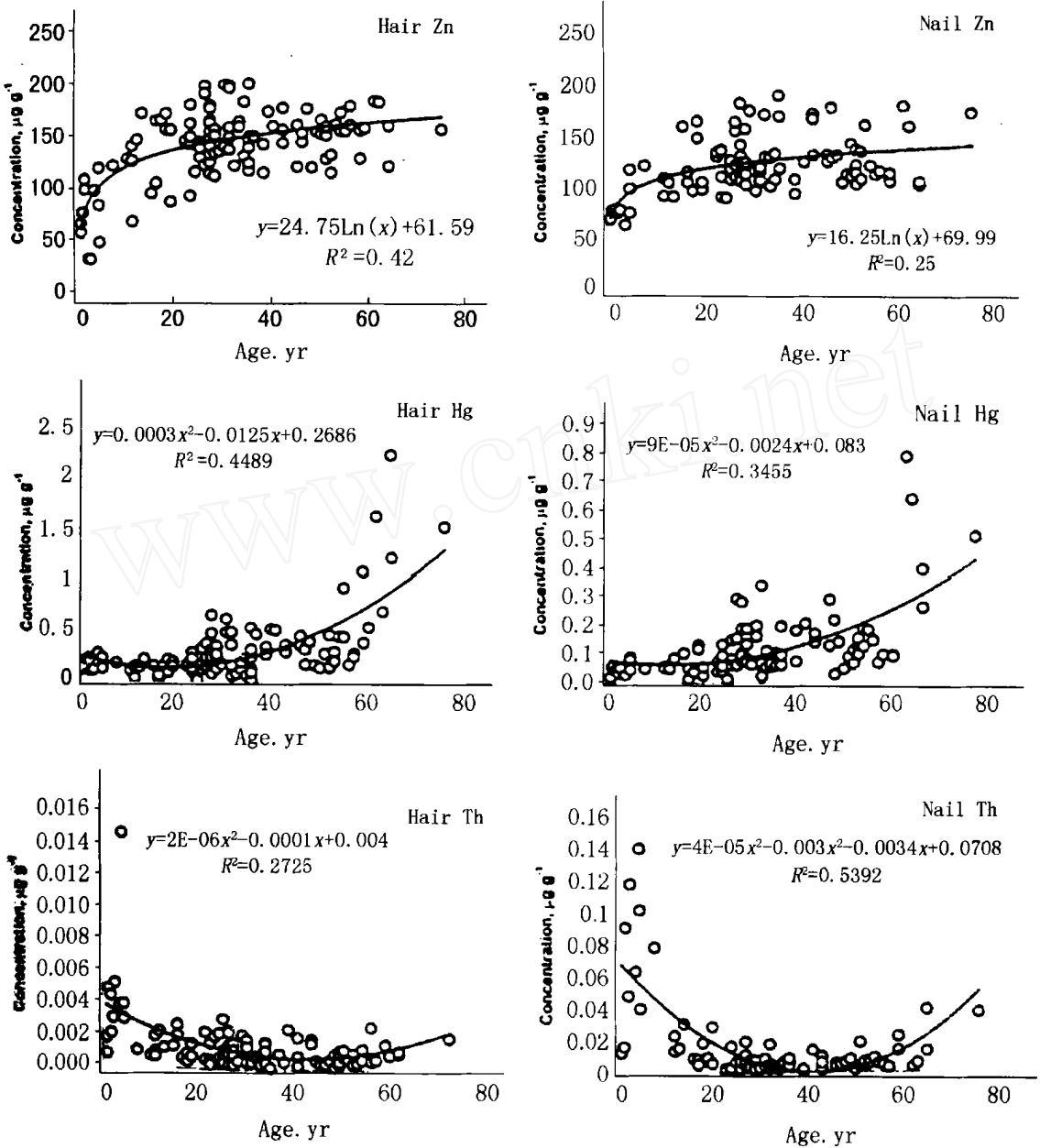


图 2 指甲和头发锌、汞、钍含量与年龄的关系  
右：指甲；左：头发。

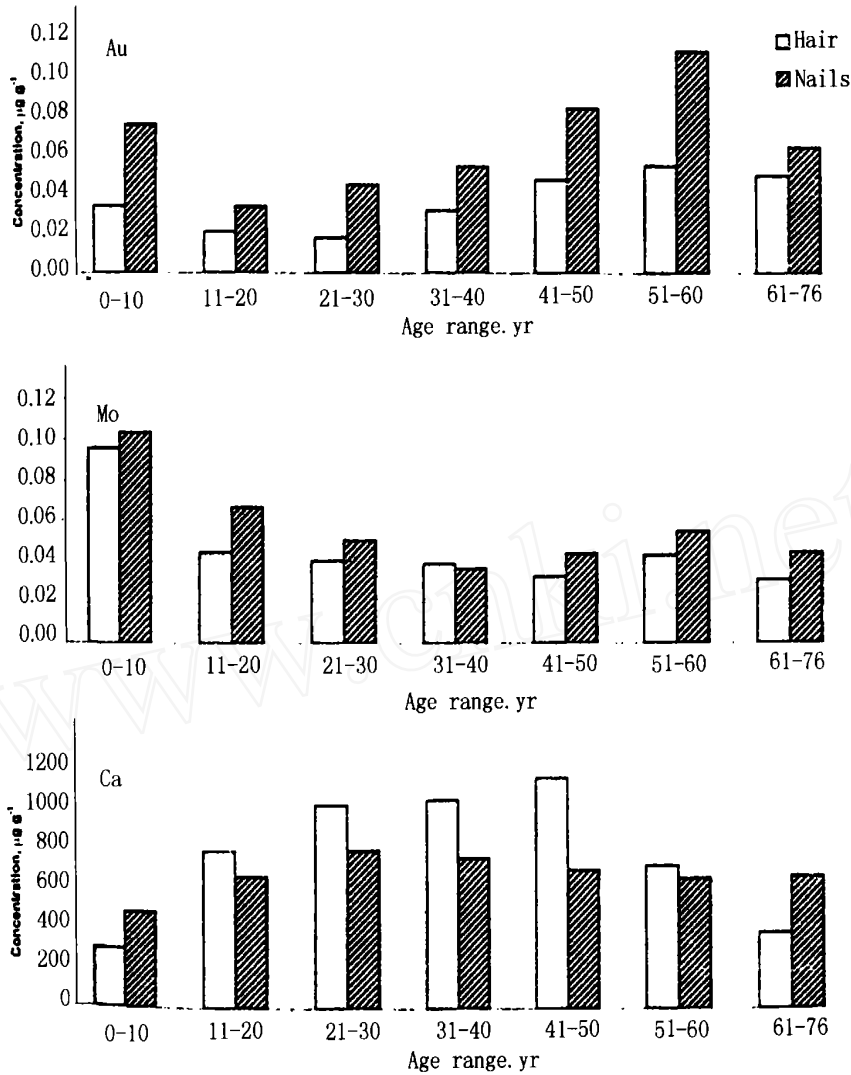


图 3 指甲和头发金、钼、钙含量与年龄关系

□ 头发; ▨ 指甲。

表 5 与性别有关的指甲元素 (单位: µg/g)

元 素	男 (n=40)	女 (n=56)	男/女
Au	0.049 (0.050) 0.035	0.087 (0.075) 0.065	0.563
Bi	0.020 (0.021) 0.016	0.098 (0.139) 0.037	0.204
Na	314 (283) 215	156 (144) 112	2.013
Mg	103 (28) 100	88 (25) 85	1.170
Si	44 (22) 41	97 (135) 54	0.454
K	260 (282) 145	125 (110) 101	2.080

注: (1) 数据表示为: 平均值 (标准差) 中位值; (2) 男、女比值按平均值计算。



## 2.5 指甲元素间的相关关系

Rodushkin (2000) 发现, 指甲元素关联与头发元素关联十分类似 (表 6), 但指甲中 (K, Na)、(U, Ti)、(Th, Nb) 关联优于头发, 而头发中 (K, Rb)、(Cs, Rb) 关联则优于指甲 (表 7)。属于同一组的元素或有类似的化学性质; 或在自然界中共存, 例如碱金属和碱土金属, 锆和钼, 钷、钷和稀土, 铝和镓等; 或有共同的接触来源, 如铂和金, 汞和银。有些元素间存在密切关联的原因还不清楚, 例如锂和钽。

Nowak (1996) 发现, 波兰人指甲镉与锌、铜、铁, 钾与锰、铁、钠、钙, 锌与锰、铁, 以及镍与钠之间存在显著相关关系。在聚类分析中还发现, 钙与钴, 镉与铁, 以及锌与铁、镉之间的密切关联, 这表明它们在指甲结构中可能起着重要作用。

表 6 指甲元素与头发元素的关联组比较

指 甲	头 发
(Rb, Sb, Na, K)	(Rb, Cs, Na, K, Cl)
(Sr, I, Mg, Ca)	(Sr, I, Mg, Ca, Ba)
(Y, Be, Sc, REE)	(Y, Be, Co, Sc, REE)
(Nb, Th, U, Al, Ti, Si, Fe, Ga, V, Cr)	(Nb, Th, Al, Ga, Ti, Fe, Cr)
(Li, Ta)	(Li, Mo, Ta)
(Pt, Au)	(Pt, Au)
(Zr, Hf)	(Zr, Hf)
(Hg, Ag)	(Hg, Ag)
	(W, Bi)

注: 括号内元素间存在  $P < 0.01$  的相关性。

表 7 指甲元素和头发元素的关联系数比较

关联元素	相关系数 ( $r$ )	
	指 甲	头 发
(Zr, Hf)	0.98	0.99
(Rb, Cs)	0.59	0.91
(Th, Nb)	0.90	0.65
(Fe, Ti)	0.59	0.57
(K, Rb)	0.75	0.95
(Mg, Sr)	0.73	0.87
(K, Na)	0.91	0.79
(U, Ti)	0.92	0.01

## 2.6 指甲元素与头发元素的相关关系

Rodushkin (2000) 的研究表明, 指甲元素与头发元素之间存在极为密切的关联, 由 59 种元素

含量平均值组成的直线回归斜率为 0.7007，关联系数为 0.9968。在个体分析中发现，汞、镉、铅、钼、铈、锑和铋有最高的关联系数，硒、钽、钍、钠、锶、钒、锗和锌也有较好的相关关系。图 4 为某些指甲与头发的元素相关关系图。Benischek - Huber (1985) 分析了 12 人的指甲和头发样品，对汞、镉和铅也有类似的结论。指甲汞、镉、铅、锑、铋与头发之间相关关系的发现具有极大的重要性，因为这表明即使在低水平非职业暴露的情况下，指甲和头发这两种材料都可用作这些有毒金属的生物学监督。

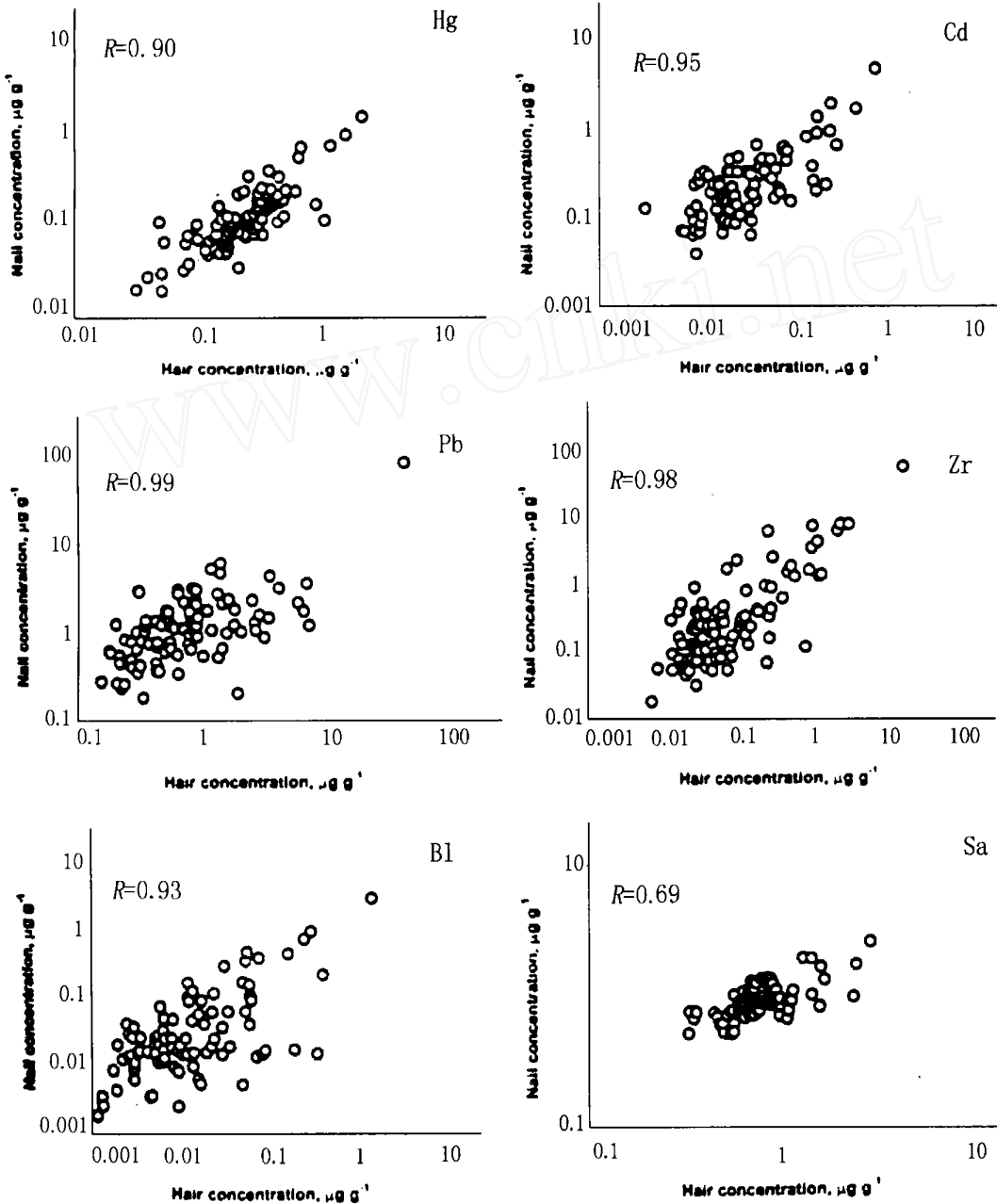


图 4 某些指甲和头发元素的相关关系

### 3 指甲元素分析的医学应用

#### 3.1 重金属暴露监测

20 世纪 90 年代以来, 利用指甲监测重金属暴露又引起了人们的重视。

1990 年, Vance 在 1 名重症肌无力病人的纵向调查中发现, 指甲微量元素水平能反映基础代谢摄入量, 病人指甲的溴含量为 32 ~ 68  $\mu\text{g/g}$ , 远高于居住在同屋中的姐姐 (4  $\mu\text{g/g}$ )。该病人服用吡啶斯的明溴化物治疗疾病。

1991 年, Wilhelm 应用趾甲监督少年儿童镉、铅、铜、锌状况; Gammelgaard 研究了指甲镍含量的参考值。

1993 年, Tsaler 测定了趾甲中铜、铁、锌、铝、砷、钴、锰、镍、锑、硒、锡、铬、铅、钼等元素含量, 发现指(趾)甲微量元素测定对生物学监督是有用的; Hayashi 研究了指甲中的镉、铅、锌, Harrison 研究了指甲中的硒, 得到相同的结论。

1995 年, Das 在世界最大砷灾区——印度西孟加拉 6 个受灾地区所作的人群头发和指甲研究, 证明指甲砷是体砷负荷的有用指示器; Cheng 研究了 129 例木匠趾甲中微量元素与铅的关系, 发现在所测定的 28 种元素中, 镉、钴、铬、铜、氟、铁、钠、镍与铅显著相关。

1997 年, Akyol 对土耳其安放节育环妇女所作的研究表明, 头发和指甲铜含量显著高于对照组, 但血清和尿铜含量与对照组无显著差异(表 8), 表明前者能反映全身元素状况, 而后者不能代表身体元素状况。研究还表明, 体内铜增高可明显地影响其他元素的平衡; 放环者指甲铁、镁、钙含量显著高于对照组,  $P$  值分别  $<0.05$ 、 $<0.025$  和  $<0.0005$ 。

表 8 安放节育环对体内铜含量的影响 (单位:  $\mu\text{g/g}$  或  $\mu\text{g/mL}$ )

分组及比较	头 发	指 甲	血 清	尿
对照组 ( $n=22$ )	37.9 $\pm$ 16.2	21.9 $\pm$ 5.4	2.51 $\pm$ 1.10	0.33 $\pm$ 0.23
放环组 ( $n=18$ )	49.4 $\pm$ 20.0	26.0 $\pm$ 9.1	2.50 $\pm$ 2.10	0.31 $\pm$ 0.10
( $n=23$ )	64.5 $\pm$ 29.2	35.7 $\pm$ 11.3	2.54 $\pm$ 1.04	0.27 $\pm$ 0.14
~	$<0.025$	$<0.05$	-	-
~	$<0.0005$	$<0.0005$	-	-
~	-	$<0.005$	-	-

注: 组放环时间在 2 年以上; 组放环时间不到 2 年。

1998 年, Mason 比较了全血、血浆和指甲硒作为膳食硒摄入量的可能性; Nichols 研究了指甲砷作为砷摄入量监督的作用。

1999 年, Shinohara 分析了锆制剂服用者指甲和头发中的锆含量, 发现服锆剂者指甲和头发锆含量都很高, 而未服锆剂者(对照组)很低(表 9), 表明指甲和头发都可作为锆的有用生物监督器, 对确定体内锆累积状况、防止含锆药物副作用是有用的。

表 9 锆剂服用者的指甲和头发锆含量 (单位:  $\mu\text{g/g}$ )

对 象		指 甲	头 发
病人	A	16.90 $\pm$ 4.88	71.05 $\pm$ 6.31
	B	12.74 $\pm$ 0.74	59.62 $\pm$ 13.75
	C	0.02	4.89 $\pm$ 0.53
	D	55.14 $\pm$ 9.40	10.96 $\pm$ 0.91
对照	1	3.7 $\pm$ 2.4	0.1 $\pm$ 0.1
	2	3.8 $\pm$ 2.2	2.7 $\pm$ 0.8

注: A —58 岁, 男, 生前已服  $\text{GeO}_2$  1~2 年; B —60 岁, 男, 服  $\text{GeO}_2$  10 年;  
C —48 岁, 女, 数月前已停服  $\text{Ge}-132$ ; D —68 岁, 男, 服有机锆保健。

2000 年, Rodushkin 对指甲进行多元素分析方法研究, 测定了指甲元素的正常值范围, 分析了指甲元素的相互关系以及指甲元素与头发元素的相关关系。

### 3.2 职业危险性检验

指甲是反映辐射损伤的灵敏组织。Majumdar (1999) 用扫描电镜 (SEM) 和原子吸收光谱法研究了印度加尔各答医院 X 射线摄片员 (监测组) 和非 X 射线摄片员 (对照组) 的指甲样品, 发现 X 射线摄片员的 SEM 图与非摄片员明显不同: 对照组指甲表面的角化组织比监测组少, 而且后者呈现多重裂纹和孤立结晶块; 对照组指甲的切割边有三个不同的角蛋白沉积区 (即表面角蛋白层、均匀角蛋白层和非均匀角蛋白层), 而监测组指甲没有这些沉积区, 但中间角蛋白层很不均匀且容易碎裂。与指甲形态变化相对应, 监测组指甲元素含量也发生很大变化。与对照组比较, 监测组指甲锌、铜、镉含量显著增加, 铜含量平均增加 2 倍, 锌增加 1 倍, 镉增加 30% (表 10)。指甲元素的这些变化与头发元素的变化相一致。这表明, 指甲元素分析对辐射工作者的危险性监测是有用的, 指甲元素有望成为低剂量辐射损伤的生物标记物。

表 10 X 射线摄片员的指甲元素含量变化 (单位:  $\mu\text{g/g}$ )

元 素	监测组 ( $n=42$ )	对照组 ( $n=42$ )	比 值
Cu	59.5 $\pm$ 2.7	19.5 $\pm$ 1.4	3.05
Zn	182.6 $\pm$ 10.3	91.2 $\pm$ 5.7	2.00
Cd	5.26 $\pm$ 0.35	4.04 $\pm$ 0.27	1.30

在职业医学中, 指甲检验可作为血清或尿样检验的补充手段。索有瑞 (1995) 用无焰原子荧光法测定了 21 例从事极谱工作人员的指甲、头发和尿中汞含量, 结果发现监测组汞含量均明显高于对照组 (表 11), 而且指甲和头发汞含量远高于尿汞含量 (约高 50~500 倍), 含量更加稳定。Hall (1996) 比较了头发、阴毛、指甲、趾甲和尿中汞含量, 发现头发和指甲优于尿样, 而头发则是筛选牙医和牙科工作者汞暴露的最合适材料。

表 11 极谱工作者的汞含量监督 (单位: 头发、指甲  $\mu\text{g/g}$ ; 尿  $\mu\text{g/L}$ )

	头 发	指 甲	尿
监测组 ( $n=21$ )	3.00 $\pm$ 1.41	0.38 $\pm$ 0.10	7.66 $\pm$ 2.31
对照组 ( $n=22$ )	1.40 $\pm$ 0.74	0.24 $\pm$ 0.09	4.59 $\pm$ 1.55
<i>P</i>	<0.001	<0.001	<0.001

### 3.3 病因探索

研究表明, 指甲元素分析可为疾病病因探索提供线索 (表 12)。

王德祯 (1985) 观察到, 老年痴呆、精神分裂症患者指甲钾、钠含量明显偏高, 镁、铁、锌、锰、钴含量明显偏低。狂躁症和抑郁症患者指甲钴含量也显著低下。

Vance (1988) 发现, 阿尔茨海默病 (AD) 患者指甲汞、溴、钾、锌含量处于不平衡状态。其后又对 20 例 AD 病人作了纵向随访研究, 对患者每隔 6 个月作一次采样测定, 共计 3 年。结果表明, 指甲汞含量随病人年龄、病程及病情严重程度增加而降低, 而钾和锌则随这些因素而增高 (Vance D E, 1990)。

Tsukamoto (1990) 对日本神奈川地区慢性肾衰竭患者所作的研究表明, 非透析病人 (保守治疗) 指甲中砷和铜含量极高, 锰含量也显著高于对照组 (表 13), 而透析病人与正常对照组无显著差异。在非透析病人的血浆中也观察到铜含量显著升高, 但锰含量的差异无显著意义。患者血浆和头发锌含量均显著降低, 但指甲锌变化并不明显。可见, 指甲分析与头发或血浆分析各有优点, 可互为补充。

表 12 病理状态下的指甲元素含量异常

病理状态	显著升高的元素	显著降低的元素
老年痴呆症	K、Na	Mg、Fe、Zn、Mn、Co
阿尔茨海默病	K、Zn	Hg
精神分裂症	K、Na	Mg、Fe、Zn、Mn、Co、Cu、Ca
抑郁症		Co
躁狂症		Co
冠心病 (女)		Zn
高血压 (女)		Zn
慢性肾衰竭	As、Cu、Mn	
肝气郁结		S
恶性肿瘤	Cu	Se、Zn
囊性纤维性变	Na、Cl、K、Br、I、Cu	S、Al

表 13 慢性肾衰竭患者的指甲元素含量变化 (单位:  $\mu\text{g/g}$ )

元 素	对照组 ( <i>n</i> )	非透析组 ( <i>n</i> )	透析组 ( <i>n</i> )
Cu	19.0 $\pm$ 6.30(8)	120.0 $\pm$ 76.0(6)	39.0 $\pm$ 31.0(10)
Al	13.8 $\pm$ 4.30(6)	-	25.0 $\pm$ 15.5(6)
Ca	458.0 $\pm$ 114.0(6)	-	603.0 $\pm$ 468.0(6)
Zn	186.0 $\pm$ 80.0(10)	192.0 $\pm$ 120.0(8)	171.0 $\pm$ 82.0(11)
As	0.33 $\pm$ 0.18(7)	1.15 $\pm$ 0.68(8) * *	0.65 $\pm$ 0.42(8)
Mn	0.35 $\pm$ 0.14(9)	0.72 $\pm$ 0.30(6) *	0.71 $\pm$ 0.59(8)

注: 与对照组比较, \*  $P < 0.05$ , \*\*  $P < 0.01$ 。

Sukumar (1992) 研究了印度新德里心血管病患者头发和指甲中的微量元素, 发现女性冠心病、高血压和冠心病伴高血压患者指甲锌含量均显著低于对照组, 而男性患者与相应对照组无显著差异。这些与头发分析结果相一致。

何兴泉 (1994) 测定了天津精神分裂症患者指甲、头发和血清中的微量元素, 观察到患者指甲铜、铁、钙含量均显著低于对照组 (表 14), 与头发和血清的分析结果一致, 说明精神分裂症与这些元素的缺乏或低下存在有机联系。

陈建伟 (2001) 用扫描电子探针法测定了正常人与肝气郁结证患者指甲炭化灰中的无机元素, 结果发现在由铝、钙、氯、钾、镁、钠、磷、硫、硅等 9 种元素组成的指甲元素谱中, 正常人有二个呈正态分布趋势的特征性高峰 —— 钙和硫, 而肝气郁结证患者只有一个高峰 —— 钙, 提示肝气郁结证可能与体内无机元素发生代谢紊乱有关。

表 14 精神分裂症患者的指甲元素含量变化 (单位:  $\mu\text{g/g}$ )

元 素	患者 ( <i>n</i> = 119)	对照 ( <i>n</i> = 135)	<i>t</i>	<i>P</i>
Cu	4.80 $\pm$ 1.02	7.50 $\pm$ 1.45	16.6	<0.01
Zn	145.0 $\pm$ 34.0	126.0 $\pm$ 32.0	4.3	<0.01
Fe	49.6 $\pm$ 21.2	73.8 $\pm$ 19.6	9.2	<0.01
Ca	1152.0 $\pm$ 291.0	1306.0 $\pm$ 312.0	4.0	<0.01
Hg	285.0 $\pm$ 78.0	299.0 $\pm$ 84.0	0.6	>0.05

### 3.4 疾病诊断

囊性纤维性变 (CF) 是欧美儿童最常见和死亡率最高的疾病之一, 属外分泌腺隐性遗传性障碍病, 如能早期诊断并作合适治疗, 许多儿童可望活到成年期。因此, 建立早期诊断 CF 的有效、可靠的群体筛选方法极为重要。在 20 世纪 70 年代, 曾采用汗液检验法诊断 CF, 但此法不易作筛选工具, 因为受到取样时间和经费的限制, 而且对新生儿、脱水儿童或营养不良儿童也难以实现。Kopito (1965) 的研究表明, 指甲钠含量有可能成为 CF 的指示器, 但随后几个小组的研究结果很不一致 (Babb A L, 1966; Fite L E, 1968; Woddruff G L, 1968; Fite L F, 1972; Gimanis A P, 1973)。1977 年, Jervis 用中子活化分析法测定了 49 例加拿大多伦多 CF 儿童指甲中的 12 种元素含量, 与 50 例相同性别和年龄的健康儿童比较, 发现 CF 患者指甲钠、氯、钾、溴、碘、铜含量显著升高 (表 15)。然而, 由于 CF 儿童与健康儿童的元素含量有很大的重叠区间, 因此仅用某个元素的测定值不能成

功筛选所有 CF 儿童。为了降低假阴性和假阳性，作者采用下列经验关系：

$$x = ([Cl] + [Br] \times [Na]) / [Al]$$

作为诊断指标，结果发现，当  $x > 100000$  时，可方便、准确地筛选出 CF 儿童，诊断准确率达 100 % (图 5)。

指甲元素分析与甲象变化观察相结合可为疾病病情和预后判断提供参考依据。魏辉 (2001) 通过恶性肿瘤患者和健康人指甲的分析和观察发现，肿瘤患者指甲硒、锌含量显著降低，而铜含量及铜/ 锌比值显著升高。甲床有紫晕的患者差异更加明显 (表 16)。

表 15 囊性纤维性变儿童与健康儿童的指甲元素含量比较 (单位:  $\mu\text{g/g}$ )

元 素	疾病组 ( $n = 49$ )	对照组 ( $n = 50$ )	比 值
Al	140 (71 ~ 1050)	210 (49 ~ 940)	0.7
Zn	230 (40 ~ 520)	190 (88 ~ 420)	1.2
S	120 (31 ~ 310)	160 (43 ~ 360)	0.8
Cu	60 (6.9 ~ 160)	18 (1.6 ~ 36)	3.3
Ca	1780 (420 ~ 3830)	800 (290 ~ 2130)	2.2
Mg	410 (142 ~ 1490)	290 (110 ~ 730)	1.4
Br	60 (21 ~ 130)	14 (5.2 ~ 220)	4.3
I	16 (0.5 ~ 47)	7.8 (0.5 ~ 34)	2.1
Cl	11700 (3770 ~ 27300)	3050 (350 ~ 7350)	3.8
Mn	3.7 (0.3 ~ 20)	3.3 (0.2 ~ 7.8)	1.1
K	2570 (430 ~ 6250)	842 (122 ~ 1970)	3.1
Na	4870 (1350 ~ 10300)	920 (375 ~ 2110)	5.3

注：所列数值为算术平均值，括号内为含量范围。

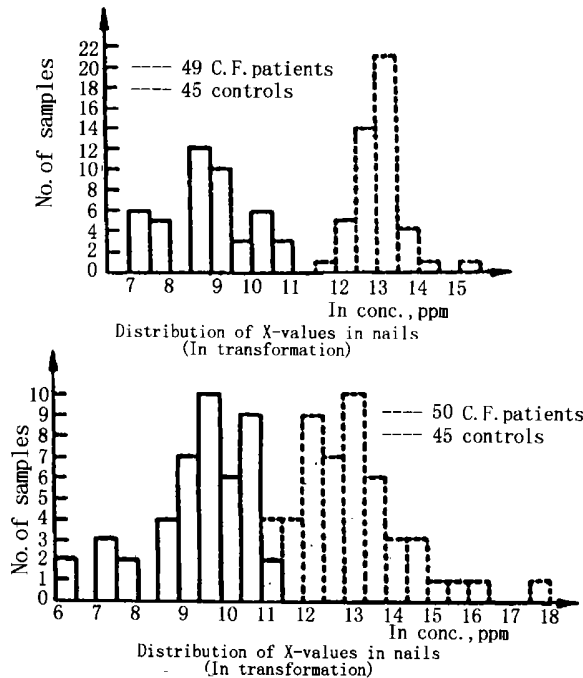


图 5 加拿大囊性纤维性变患者与正常儿童的指甲 (上图) 和头发 (下图) 元素  $x$  因子分布  
..... 囊性纤维性变患者；—— 正常健康儿童。

表 16 恶性肿瘤患者的指甲元素含量变化 (单位:  $\mu\text{g/g}$ )

元 素	肿瘤组 ( $n=50$ )	对照组 ( $n=20$ )	有紫晕组 ( $n=15$ )	无紫晕组 ( $n=35$ )
Se	2.91 $\pm$ 1.07 *	3.78 $\pm$ 1.57	2.42 $\pm$ 0.95	3.12 $\pm$ 1.07
Zn	92.81 $\pm$ 15.12 *	105.37 $\pm$ 23.00	85.01 $\pm$ 18.46	96.14 $\pm$ 12.28
Cu	6.58 $\pm$ 2.25 *	4.97 $\pm$ 1.26	7.97 $\pm$ 2.53	5.98 $\pm$ 1.85
Cu/Zn	0.073 $\pm$ 0.034 *	0.049 $\pm$ 0.018	0.098 $\pm$ 0.044	0.065 $\pm$ 0.093

注: (1) 与对照组比较, \*  $P < 0.05$ ; (2) 与无紫晕组比较,  $P < 0.05$ 。

### 参考文献:

- [1] 陈建伟, 李 祥, 陈 进, 等. 正常人与肝气郁结证人指甲中无机元素的比较分析 [J]. 广东微量元素科学, 2001, 8 (11): 34~37.
- [2] 魏 辉, 靳士英, 陈 凯. 恶性肿瘤患者甲象与甲微量元素的对比观察 [J]. 广东微量元素科学, 2001, 8 (1): 32~33.
- [3] 张万洲, 张国育. 指甲与头发中微量元素分析 [J]. 中华微量元素科学, 1996, 3 (2~3): 51~53.
- [4] 索有瑞, 伊甫申, 黄雅丽. 极谱分析人员头发、指甲和尿中的汞含量及其评价 [J]. 广东微量元素科学, 1995, 2 (9): 23~26.
- [5] 何兴泉. 精神分裂症病人血清、指甲、头发中微量元素含量变化分析 [J]. 广东微量元素科学, 1995, 2 (9): 23~26.
- [6] 江苏新医学院编. 中药大辞典 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1990. 39~40.
- [7] 明 李时珍 著. 本草纲目 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 1985. 2935~2937.
- [8] 王文华, 李捷珈著. 指甲诊病 [M]. 上海: 上海中医学院出版社, 1991.
- [9] 王德祯. 老年痴呆、精神分裂症等患者指甲中若干元素的含量 [J]. 微量元素, 1985, 2 (3): 23~25.
- [10] 何俊英, 齐大荃, 刘冬霓, 等. 指甲中微量元素的等离子体发射光谱分析 [J]. 微量元素, 1987, 4 (3): 51~55.
- [11] Hopps H C. The biologic bases for using hair and nail for analyses of trace elements [J]. Sci Total Environ, 1997, 7: 71~89.
- [12] Jervis R E, Hancock R G V, Hill D E, et al. Biomedical and health studies with the new canadian slowpoke reactor [J]. J Radioanal Chem, 1977, 37: 463~471.
- [13] Vance D E, Ehmann W D, Markeshery W R. A search for longitudinal Variations in trace element levels in nails of Alzheimer's disease patients. Biol Trace Elem Res, 1990, 26~27: 461~470.
- [14] Nowak B. Occurrence of heavy metals, sodium, calcium, and potassium in human hair, teeth, and nails [J]. Biol Trace Elem Res, 1996, 52: 11~22.
- [15] Wilhelm M, Hafner D. Monitoring of cadmium, copper, lead and zinc status in young children using toenails: Comparison with scalp hair [J]. Sci Total Environ, 1991, 103: 199~207.
- [16] Gammelgaard B. Reference values for the nickel concentration in human finger nails [J]. J Trace Elem Electrolytes Health Dis, 1991, 5: 121~123.
- [17] Hayashi M, Yamamoto K, Yoshimura M, et al. Cadmium, lead, and zinc in human fingernails [J]. Bull Environ Contam Toxicol, 1993, 50: 547~553.
- [18] Mason M M, Morris J S, Spate V L. Comparison of whole blood, Plasma and nails as monitors for the dietary intake of selenium [J]. J Radioanal Chem, 1998, 236: 29~34.
- [19] Nichols T A, Morris J S, Masson M M. The study of human nails as an intake monitor for arsenic using neutron activation



- analysis [J]. *J Radioanal Chem*, 1998, 236: 51 ~ 56.
- [20] Vance D E, Ehmann W D, Marvesbery W R. Trace element content in fingernails and hair of a nonindustrialized US control population [J]. *Bio Trace Elem Res*, 1988, 17: 109 ~ 121.
- [21] Majumdar S, Chatterjee J, Chaudhuri K, Ultrastructural and trace metal studies on radiographers ' hair and nails [J]. *Biol Trace Elem Res*, 1999, 67: 127 ~ 138.
- [22] Biswas S K, Abdullah M, Akhter S, et al. Trace elements in human fingernails: Measurement by PIXE [J]. *J Radioanal Nucl Chem Articles*, 1984, 82 (1): 111 ~ 124.
- [23] Shinohara A, Chiba M, Inaba Y. Determination of Ge in human specimens: Comparative study of atomic absorption spectrometry and microwave induced plasma mass spectrometry [J]. *J Anal Toxicol*, 1999, 23 (6): 625 ~ 631.
- [24] Akyol O, Ersan F, Akcay F, et al. Hair, nail, serum, and urine copper levels in users of copper intrauterine devices and interactions between copper and some other trace elements [J]. *Trace Elem Electrolytes*, 1997, 14 (3): 124 ~ 129.
- [25] Chen KL B, Amarasiriwardena C J, Christiani D C. Determination of total arsenic concentrations in nails by inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. *Biol Trace Elem Res*, 1999, 67: 109 ~ 125.
- [26] Gueson B L. Nails: Concern over their use in lead exposure assessment [J]. *Sci Total Environ*, 1996, 177: 323 ~ 327.
- [27] Suguki T. Hair and nails: advantages and pitfalls when used in biological monitoring [A]. In: Clarkson T W, Friberg L, Nordberg G F, Sager P R, ed. *Biological monitoring of toxic metals* [C]. New York: Plenum Press, 1988. 623 ~ 641.
- [28] Oluwole A F, Ojo J O, Durosinni M A, et al. Elemental composition of head hair and fingernails of some nigerian subjects [J]. *Biol Trace Elem Res*, 1994, 43 ~ 45: 443 ~ 452.
- [29] Rodushkin I, Axelsson M D. Application of double focusing sector field ICP - MS for multielemental characterization of human hair and nails. Part . A study of inhabitants of northern Sweden [J]. *Sci Total Environ*, 2000, 262: 21 ~ 36.
- [30] Tsukamoto Y, Iwanami S, Ishida O, et al. Search for the unknown trace element abnormalities in uremia [A]. In: Tomita H, ed. *Trace Elements in Clinical Medicine* [C]. Tokyo: Springer - Verlay, 1990. 129 ~ 132.

## Biologic Bases and Medical Applications for Using Nail for Analysis of Trace Elements

QIN Jun - fa

(Shanghai Institute of Nuclear Research,  
Chinese Science Academy, Shanghai 201800, China)

**Abstract:** A review with 30 reference is given on biologic bases and medical applications for using nail for analysis of trace elements including the structure and composition of nail, the characteristic of trace elements in nail, and medical applications for using nail for analysis of trace elements.

**Key words:** nail; analysis of trace elements; biologic base; medical application