

Biomarker นารู้

ตอน

ตรวจการสัมผัสโลหะ (Metal)

ในเลือด (Blood) หรือในปัสสาวะ (Urine) ดี?

เรียบเรียงโดย นพ.วิวัฒน์ เอกบูรณะวัฒน์

ผู้อำนวยการศูนย์วิชาการอาชีวเวชศาสตร์ รพ.กรุงเทพระยอง และแพทย์ที่ปรึกษาด้านอาชีวอนามัย
ความปลอดภัย และพิษวิทยา บริษัท National Healthcare Systems, Co. Ltd. (N Health)

วันที่เผยแพร่ 19 กันยายน 2560

การทำงานสัมผัสธาตุโลหะ (Metal) ในการประกอบอาชีพนั้น หากเราจะทำการตรวจตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ (Biomarker) เพื่อประเมินการสัมผัสให้กับคนทำงาน ข้อสงสัยหนึ่งที่ผู้เรียบเรียงมักถูกถามอยู่บ่อยๆ ก็คือ เราจะตรวจธาตุโลหะชนิดที่สนใจในเลือด (Blood) หรือในปัสสาวะ (Urine) ของคนทำงานจึงจะดี? ที่เกิดปัญหานี้ขึ้น เนื่องจากธาตุโลหะหลายชนิดสามารถทำการส่งตรวจทางห้องปฏิบัติการได้ทั้งในเลือดและในปัสสาวะนั้นเอง บทความนี้จะให้คำแนะนำสำหรับการตรวจตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ เพื่อเฝ้าระวังการสัมผัสธาตุโลหะในการทำงาน (ในทางอาชีวอนามัย) โดยยึดตามเอกสารขององค์กรวิชาการที่เป็นที่ยอมรับในระดับนานาชาติ ได้แก่ American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) ประเทศสหรัฐอเมริกา [1-2] และ Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) ประเทศเยอรมัน [3] เป็นหลักนะครับ

สำหรับธาตุโลหะตัวแรกที่จะกล่าวถึงคือตะกั่ว (Lead) ในกรณีที่คนทำงานสัมผัสตะกั่ว องค์กร ACGIH แนะนำให้ตรวจประเมินการสัมผัสตะกั่วในเลือด (Blood) เป็นหลักเท่านั้น [1] โดยการตรวจตะกั่วในเลือด ถือว่าเป็นการประเมินการสัมผัสตะกั่วในระยะยาว (Long-term exposure) โดยหาระยะเวลาการสัมผัสตะกั่วที่น้อยกว่า 30 วัน ค่าครึ่งชีวิตของตะกั่วในเลือดจะอยู่ที่ประมาณ 35 วัน [2] แต่หากระยะเวลาการสัมผัสตะกั่วที่นานตั้งแต่ 30 วันขึ้นไป เช่น เป็นปี (ซึ่งพบได้บ่อยในกรณีของคนสัมผัสจากการทำงาน) ค่าครึ่งชีวิตของตะกั่วในเลือดจะยาวกว่า 35 วันมาก เหตุเพราะตะกั่วสามารถไปสะสม (Accumulation) อยู่ในกระดูก (Bone) และค่อยๆ ถูกปลดปล่อยออกมาให้ตรวจพบได้เลือดอีกเป็นเวลานาน [2] ส่วนการตรวจตะกั่วในปัสสาวะนั้นองค์กร ACGIH ไม่แนะนำ [2] เนื่องจากเป็นการประเมินการสัมผัสในระยะสั้น (Recent exposure) โดยตะกั่วที่ร่างกายได้รับเข้าไปจะถูกขับออกมาในปัสสาวะอย่างรวดเร็ว จึงไม่มีประโยชน์มากนักในการประเมินการสัมผัส

ทางด้านอาชีวอนามัย อีกทั้งตะกั่วในปัสสาวะยังมักมีระดับไม่สัมพันธ์กับในเลือด มีความแปรปรวนมากในแต่ละบุคคล และมีโอกาสปนเปื้อนในระหว่างการเก็บตัวอย่างได้ง่ายด้วย [4]

ธาตุโลหะตัวต่อมาที่จะกล่าวถึงคือ**ปรอท (Mercury)** การประเมินการสัมผัสปรอทในรูปธาตุบริสุทธิ์ (Elemental mercury) ในการทำงานนั้น ปัจจุบันองค์กร ACGIH แนะนำให้ทำการตรวจในปัสสาวะ (Urine) เป็นหลักเท่านั้น [1] โดยการตรวจในปัสสาวะนี้จะเป็นการประเมินการสัมผัสปรอทในระยะยาว (Long-term exposure) ค่าครึ่งชีวิตของปรอทในปัสสาวะอยู่ในช่วง 12.8 – 98.9 วัน (ค่า Median อยู่ที่ 63.2 วัน) [2] ซึ่งถือว่าเป็นระยะเวลาที่ยาว จึงมีประโยชน์ในการใช้ประเมินในกรณีทางด้านอาชีวอนามัย สำหรับการตรวจระดับปรอทในเลือด (Blood) นั้น จะเป็นการประเมินการสัมผัสในระยะสั้น (Recent exposure) ค่าครึ่งชีวิตของปรอทในเลือดหลังการสัมผัสจะมีลักษณะเป็น 2 ช่วง คือ 2 – 4 วันสำหรับ 90 % ของปรอทที่ดูดซึมเข้าไป กับ 15 – 30 วัน สำหรับส่วนที่เหลือ [4] เนื่องจากเป็นการประเมินการสัมผัสในระยะสั้น จึงไม่มีประโยชน์มากนักในการใช้ประเมินการสัมผัสในทางด้านอาชีวอนามัย แต่ในอดีต คือในปี ค.ศ. 1993 องค์กร ACGIH ก็เคยแนะนำให้ใช้การตรวจปรอทในเลือดเป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพของการสัมผัสปรอทได้อยู่ช่วงหนึ่ง อย่างไรก็ตามได้ยกเลิกคำแนะนำไปตั้งแต่ปี ค.ศ. 2012 เนื่องจากพบปัญหาว่าค่าปรอทในเลือดจะสูงขึ้นมาก ในผู้ที่กินอาหารที่มีปรอทอินทรีย์ปนเปื้อน เช่น Methyl mercury ที่พบได้ในเนื้อปลา [2]

โลหะชนิดถัดมาที่จะกล่าวถึงคือ**อลูมิเนียม (Aluminium)** โลหะชนิดนี้องค์กร ACGIH ไม่ได้ให้คำแนะนำในการตรวจตัวบ่งชี้ทางชีวภาพไว้ แต่มีการให้คำแนะนำไว้โดยองค์กร DFG ของประเทศเยอรมัน [3] ซึ่งองค์กร DFG แนะนำให้ทำการตรวจอลูมิเนียมในปัสสาวะ (Urine) เท่านั้น โดยค่าครึ่งชีวิตของอลูมิเนียมในปัสสาวะที่พบในการศึกษาวิจัยต่างๆ นั้นมีความแตกต่างกันมาก มีการศึกษาหนึ่งพบว่าหากระยะเวลาการสัมผัสน้อยกว่า 1 ปี ค่าครึ่งชีวิตของอลูมิเนียมในปัสสาวะจะอยู่ที่ประมาณ 9 วัน แต่ถ้าระยะเวลาการสัมผัสเกิน 10 ปีขึ้นไป ค่าครึ่งชีวิตของอลูมิเนียมในปัสสาวะจะอยู่ที่ประมาณ 6 เดือนหรือนานกว่านั้น [5]

ธาตุกึ่งโลหะอีกชนิดที่พบมีค่าถามบ่อยคือ**สารหนู (Arsenic)** การตรวจประเมินการสัมผัสสารนี้ องค์กร ACGIH แนะนำให้ทำการตรวจสารหนูในปัสสาวะ (Urine) เท่านั้น [1] โดยการตรวจในปัสสาวะนี้ ถือว่าเป็นการประเมินการสัมผัสในระยะสั้น (Recent exposure) เนื่องจากค่าครึ่งชีวิตของสารหนูในปัสสาวะจะอยู่ในช่วง 30 – 60 ชั่วโมง (1.25 – 2.50 วัน) โดยประมาณ [2] สำหรับการตรวจระดับสารหนูในเลือด (Blood) นั้น เนื่องจากสารหนูถูกกำจัดออกจากร่างกายได้อย่างรวดเร็ว ค่าในเลือดจึงลดลงอย่างรวดเร็วมาก และค่าที่ตรวจได้จะมีความแปรปรวนสูง องค์กร ACGIH จึงไม่แนะนำให้ใช้การตรวจสารหนูในเลือดเป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ [2]

ธาตุโลหะตัวถัดมาคือ**แคดเมียม (Cadmium)** องค์กร ACGIH แนะนำให้ตรวจประเมินการสัมผัสโลหะนี้โดยใช้ได้ทั้งการตรวจระดับในเลือด (Blood) และในปัสสาวะ (Urine) [1] แคดเมียมเป็นธาตุโลหะที่ขับออกจาก

ร่างกายได้เข้ามา เนื่องจากสามารถไปทำการสะสมอยู่ในเนื้อไต (Kidney) และจะค่อยๆ ขับออกจากร่างกายโดยใช้เวลานาน ค่าครึ่งชีวิตของแคดเมียมในปัสสาวะนั้น ยาวนานมากถึง 10 – 30 ปี [2] การตรวจระดับแคดเมียมในปัสสาวะจึงเป็นการตรวจเพื่อประเมินการสัมผัสในระยะยาว (Long-term exposure) ส่วนค่าครึ่งชีวิตของแคดเมียมในเลือดนั้นก็ยาวนานเช่นกัน คือมีค่าอยู่ที่ประมาณ 2 – 3 เดือน [2] แต่ในคนที่เคยสัมผัสในปริมาณสูงหรือมีแคดเมียมสะสมอยู่ในร่างกายมาก อาจพบมีค่าครึ่งชีวิตในลักษณะแบ่งเป็น 2 ช่วง ช่วงแรกประมาณ 75 – 128 วัน และช่วงที่สองยาวนานมาก คือประมาณ 7.4 – 16.0 ปี [6] การตรวจระดับแคดเมียมในเลือดจึงถือว่าการประเมินการสัมผัสในระยะยาว (Long-term exposure) เช่นกัน ในกรณีทั่วไปองค์กร ACGIH แนะนำให้ใช้การตรวจระดับแคดเมียมในปัสสาวะเป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพของการสัมผัสแคดเมียม แต่แนะนำการตรวจระดับในเลือดด้วยถ้าเป็นช่วงปีแรกๆ ของการทำงาน และในกรณีที่สงสัยว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงของระดับการสัมผัสแคดเมียมจากระดับที่เคยสัมผัสอยู่เดิม [2] เนื่องจากค่าระดับแคดเมียมในเลือดนั้นจะเปลี่ยนแปลงได้ไวกว่าระดับแคดเมียมในปัสสาวะ พอจะให้ข้อมูลเพื่อประเมินการสัมผัสในระยะสั้น (Recent exposure) ได้ดีกว่า [2]

ลำดับถัดมาคือ**โครเมียม (VI)** การทำงานสัมผัสสารประกอบของธาตุโลหะชนิดนี้ที่ละลายน้ำได้ในรูปของพุ่ม (Water-soluble fume) องค์กร ACGIH แนะนำให้ทำการตรวจตัวบ่งชี้ทางชีวภาพโดยการตรวจระดับโครเมียมรวม (Total chromium) ในปัสสาวะ (Urine) [1] ในการที่ร่างกายขับโครเมียมออกทางปัสสาวะนั้น จะมีค่าครึ่งชีวิตที่มีลักษณะแบ่งเป็น 3 ระยะ (Triphasic) โดยระยะแรกเป็นเวลาประมาณ 7 ชั่วโมง ระยะที่สองเป็นเวลาประมาณ 15 – 30 วัน และระยะที่สามเป็นเวลานาน 3 – 5 ปี [2] สำหรับการตรวจระดับโครเมียมในเลือด (Blood) นั้น องค์กร ACGIH ไม่แนะนำให้ใช้เป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพของการสัมผัสโครเมียม (VI) โดยให้เหตุผลว่าไม่สามารถประเมินความเหมาะสมได้ เนื่องจากมีข้อมูลทางวิชาการอยู่น้อยมาก [2]

โลหะชนิดต่อมาคือ**โคบอลต์ (Cobalt)** องค์กร ACGIH แนะนำให้ประเมินการสัมผัสโลหะชนิดนี้ในการทำงานโดยใช้การตรวจระดับในปัสสาวะ (Urine) เป็นหลัก [1] การขับโลหะโคบอลต์ออกจากร่างกายนั้น ช่องทางการขับออกทั้งทางปัสสาวะและอุจจาระถือว่ามีบทบาททั้งคู่ [2] สำหรับการขับออกทางปัสสาวะนั้น การศึกษาวิจัยต่างๆ ในอดีตพบค่าครึ่งชีวิตของโคบอลต์ในปัสสาวะที่หลากหลายแตกต่างกัน [4] เช่น การศึกษาหนึ่งพบว่าค่าครึ่งชีวิตของการขับโคบอลต์ออกทางปัสสาวะจะมีลักษณะแบ่งเป็น 3 ระยะ โดยระยะแรกเป็นเวลาประมาณ 44 ชั่วโมง ระยะที่สองเป็นเวลาประมาณ 10 วัน และระยะที่สามเป็นเวลานานหลายปี [7] ในการประเมินจึงเป็นทั้งการพิจารณาการสัมผัสในระยะสั้นและระยะยาว สำหรับการตรวจโคบอลต์ในเลือด (Blood) นั้น องค์กร ACGIH ให้ความเห็นว่า แม้ว่าระดับโคบอลต์ในเลือดดูเหมือนจะมีความสัมพันธ์กับระดับโคบอลต์ในอากาศที่คนทำงานสัมผัสเช่นกัน แต่เพื่อความสะดวกในการเก็บตัวอย่าง (เนื่องจากการเก็บปัสสาวะง่ายกว่าการเจาะเลือด) องค์กร ACGIH จึงแนะนำให้ใช้การตรวจโคบอลต์ในปัสสาวะเป็นหลักในการประเมินเพียงอย่างเดียว [2]

แร่ธาตุตัวต่อไปที่ขอกล่าวถึงเป็นธาตุโลหะ แต่อาจมีปัญหาในการเลือกตัวอย่างสิ่งส่งตรวจได้เช่นกัน คือ ฟลูออรีน (Fluorine; สัญลักษณ์ F) ซึ่งมักใช้ในอุตสาหกรรมในรูปไอออนที่เรียกว่า **ฟลูออไรด์ (Fluoride; สัญลักษณ์ F⁻)** การตรวจตัวบ่งชี้ทางชีวภาพของการสัมผัสฟลูออไรด์นั้น องค์กร ACGIH แนะนำให้ทำการตรวจในปัสสาวะ (Urine) เป็นหลัก [1] ฟลูออไรด์สามารถสะสมในกระดูก (Bone) และฟัน (Tooth) ได้นานหลายปี ค่าครึ่งชีวิตของฟลูออไรด์ในปัสสาวะนั้นมีลักษณะเป็น 3 ระยะ ฟลูออไรด์ที่อยู่ในเลือดและเนื้อเยื่ออ่อน (Soft tissue) จะถูกขับออกมาทางปัสสาวะอย่างรวดเร็ว มีค่าครึ่งชีวิตอยู่ในช่วง 2 – 9 ชั่วโมง ส่วนฟลูออไรด์ที่สะสมอยู่ในกระดูกและฟันจะค่อยๆ ถูกขับออกมา โดยมีค่าครึ่งชีวิตในส่วนนี้ในภาพรวมประมาณ 8 – 20 ปี (ช่วงแรกใช้เวลาหลายสัปดาห์ในการขับออก ช่วงที่สองใช้เวลาหลายปีในการขับออก) [2] การตรวจระดับฟลูออไรด์ในปัสสาวะก่อนทำงานจึงเป็นเหมือนการประเมินการสัมผัสในระยะยาว (Long-term exposure) หรือการสะสมในร่างกาย (Body burden) ของคนทำงานผู้นั้น ส่วนการตรวจระดับฟลูออไรด์ในปัสสาวะหลังเลิกงานพอจะใช้เป็นเครื่องแสดงถึงการสัมผัสในระยะสั้น (Recent exposure) ได้ [2] สำหรับการตรวจฟลูออไรด์ในเลือด (Blood) นั้น องค์กร ACGIH ไม่แนะนำให้ทำ เนื่องจากยังมีข้อมูลอยู่น้อย และมีโอกาสเกิดผลบวกจากกาปนเปื้อนได้ง่าย [2]

ธาตุโลหะตัวถัดมาคือ **นิกเกิล (Nickel)** ซึ่งการตรวจตัวบ่งชี้ทางชีวภาพของโลหะชนิดนี้ องค์กร ACGIH ไม่ได้ให้คำแนะนำไว้ แต่มีคำแนะนำที่กำหนดไว้โดยองค์กร DFG ซึ่งแนะนำให้ตรวจประเมินการสัมผัสโลหะนิกเกิลในปัสสาวะ (Urine) เป็นหลัก [3] ค่าครึ่งชีวิตของนิกเกิลในปัสสาวะนั้นมีลักษณะแบ่งเป็น 2 ช่วง ช่วงแรกมีค่าอยู่ที่ประมาณ 1 – 3 วัน ช่วงที่สองมีค่าอยู่ที่ประมาณ 1 – 3 เดือน [4] การประเมินการสัมผัสโดยใช้ค่าระดับนิกเกิลในปัสสาวะนั้น องค์กร DFG แนะนำให้ใช้เพื่อประเมินการสัมผัสในระยะยาว (Long-term exposure) เป็นหลัก [3] สำหรับการตรวจระดับนิกเกิลในเลือด (Blood) นั้น แม้ว่าจะมีข้อมูลว่าอาจสามารถทำได้ [4] แต่ องค์กร DFG ไม่ได้ให้คำแนะนำในการตรวจและแปลผลไว้ [3] จึงไม่แนะนำให้ทำ

สำหรับการทำงานสัมผัสโลหะ **แมงกานีส (Manganese)** องค์กร ACGIH ไม่ได้ให้คำแนะนำในการตรวจตัวบ่งชี้ทางชีวภาพไว้ แต่มีคำแนะนำโดยองค์กร DFG ซึ่งแนะนำให้ทำการตรวจในเลือด (Blood) เพื่อประเมินการสัมผัส ข้อมูลของค่าครึ่งชีวิตของแมงกานีสในเลือดนั้นดูเหมือนยังไม่มี ความชัดเจน การศึกษาหนึ่งเชื่อว่าอาจสั้นมากเพียง 1.8 ชั่วโมงก็เป็นได้ [8] ส่วนค่าครึ่งชีวิตของแมงกานีสในร่างกายมนุษย์อาจอยู่ในช่วง 13 – 43 วัน หรือนานกว่านั้นคือประมาณ 24 – 74 วัน [8] หรือมีการสะสมในกระดูกและอาจมีค่าครึ่งชีวิตในกระดูกยาวนานถึง 8 – 9 ปี [9] โดยสรุปคือข้อมูลเกี่ยวกับแมงกานีสยังมีอยู่น้อย ในการตรวจระดับแมงกานีสในเลือด การศึกษาวิจัยบางส่วนก็เชื่อว่าเป็นการประเมินการสัมผัสในระยะสั้น (Recent exposure) แต่บางส่วนก็เชื่อว่าเป็นการประเมินการสัมผัสในระยะยาว (Long-term exposure) หรือดูการสะสมในร่างกาย (Body burden) โดยเฉพาะในกรณีที่ตรวจหลังจากนำคนทำงานออกจากการสัมผัส (Removal of exposure) แมงกานีสแล้ว [4] ส่วนการตรวจระดับแมงกานีสในปัสสาวะนั้นข้อมูลยังมีอยู่น้อย [4] และองค์กร DFG ไม่ได้ให้คำแนะนำไว้

การตรวจตัวบ่งชี้ทางชีวภาพของแร่ธาตุอีกชนิดหนึ่งคือ**ซีลีเนียม (Selenium)** แร่ธาตุนี้แม้จะเป็นธาตุโลหะ แต่ก็อาจมีปัญหาในการเลือกสิ่งส่งตรวจได้เช่นกัน สำหรับคำแนะนำในการตรวจตัวบ่งชี้ทางชีวภาพของการทำงานสัมผัสซีลีเนียม องค์กร ACGIH ไม่ได้ให้คำแนะนำไว้ แต่มีคำแนะนำโดยองค์กร DFG ซึ่งแนะนำให้ทำการตรวจระดับในเลือด (Blood) โดยเป็นการตรวจหาระดับซีลีเนียมในซีรัม (Serum) เป็นหลัก [3] ค่าครึ่งชีวิตของซีลีเนียมในเลือดนั้นเป็นเวลา 8 ชั่วโมงโดยประมาณ [10] การตรวจระดับซีลีเนียมในพลาสมาหรือซีรัมจึงเป็นการประเมินการสัมผัสในระยะสั้น (Recent exposure) [4] ส่วนการตรวจระดับซีลีเนียมในปัสสาวะ (Urine) นั้น ข้อมูลยังมีค่อนข้างน้อย [4] และไม่มีคำแนะนำไว้โดยองค์กร DFG

สำหรับการทำงานสัมผัส**ทองแดง (Copper) เหล็ก (Iron) สังกะสี (Zinc) และแมกนีเซียม (Magnesium)** ในการทำงานนั้น ทั้งองค์กร ACGIH [1-2] และองค์กร DFG [3] ยังไม่มีคำแนะนำให้ทำการตรวจตัวบ่งชี้ทางชีวภาพทั้งสององค์กร แร่ธาตุกลุ่มนี้เป็นแร่ธาตุจำเป็นต่อร่างกาย (Essential element) ซึ่งจะพบอยู่ในร่างกายของมนุษย์เป็นปกติอยู่แล้ว การตรวจระดับแร่ธาตุเหล่านี้ในร่างกายแล้วพบว่ามีความสูง จึงอาจเป็นการบ่งชี้ภาวะความสมบูรณ์ของโภชนาการและสุขภาพ มากกว่าจะเป็นการบ่งชี้ว่ามีการสัมผัสสารเคมีในระดับที่เป็นอันตรายด้วยเหตุที่กล่าวมานี้ ถ้าคนทำงานมีการสัมผัสกับแร่ธาตุทองแดง (Copper) เหล็ก (Iron) สังกะสี (Zinc) และแมกนีเซียม (Magnesium) ในการทำงานแล้ว ในปัจจุบันจึงยังไม่แนะนำให้ทำการตรวจระดับของแร่ธาตุเหล่านี้ไม่ว่าในเลือด (Blood) หรือในปัสสาวะ (Urine) เป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ [1-3] แนะนำให้ทำการประเมินการสัมผัสโดยการตรวจวัดระดับของสารเคมีที่มีแร่ธาตุเหล่านี้เป็นองค์ประกอบในอากาศในพื้นที่การทำงาน โดยให้นักสุขศาสตร์อุตสาหกรรมเป็นผู้ทำการตรวจวัด จะเป็นการเฝ้าระวังการสัมผัสกับแร่ธาตุเหล่านี้ได้อย่างเหมาะสมกว่า

ผู้เรียบเรียงได้จัดทำตารางสรุปเพื่อให้ง่ายต่อการนำไปใช้ ว่าธาตุโลหะใด องค์กรวิชาการ (ACGIH หรือ DFG) แนะนำให้ตรวจตัวบ่งชี้ทางชีวภาพโดยใช้การตรวจในเลือด (Blood) ธาตุโลหะใดแนะนำให้ตรวจในปัสสาวะ (Urine) และธาตุโลหะใดตรวจได้ทั้งในเลือด (Blood) และในปัสสาวะ (Urine) บ้าง รายละเอียดดังที่รวบรวมไว้ในตารางครับ

ตาราง แสดงคำแนะนำในการตรวจประเมินการสัมผัสโลหะในเลือดและในปัสสาวะ

ชื่อ (Name)	แนะนำให้ตรวจใน (Recommend medias)	ค่าอ้างอิง [เวลาเก็บ] (Values [Sampling time])
ตะกั่ว (Lead)	ในเลือด (Blood)	200 µg/L [NC]
ปรอท (Mercury)	ในปัสสาวะ (Urine)	20 µg/g creatinine [PTS]
อลูมิเนียม (Aluminium) ^A	ในปัสสาวะ (Urine)	60 µg/g creatinine [NC]
สารหนู (Arsenic) ^B	ในปัสสาวะ (Urine)	35 µg/L [EWW]
แคดเมียม (Cadmium)	ในเลือด (Blood) หรือปัสสาวะ (Urine) ก็ได้	Blood: 5 µg/L [NC] Urine: 5 µg/g creatinine [NC]
โครเมียม (VI) (Chromium (VI))	ในปัสสาวะ (Urine)	25 µg/L [EWW] 10 µg/L [DS]
โคบอลต์ (Cobalt)	ในปัสสาวะ (Urine)	15 µg/L [EWW]
ฟลูออไรด์ (Fluoride) ^C	ในปัสสาวะ (Urine)	2 µg/L [PTS] 3 µg/L [EOS]
นิกเกิล (Nickel) ^A	ในปัสสาวะ (Urine)	30 µg/L [EWW]
แมงกานีส (Manganese) ^A	ในเลือด (Blood)	15 µg/L [EOS, EWW]
ซีลีเนียม (Selenium) ^{A,C}	ในเลือด (Blood)	150 µg/L [NC]

หมายเหตุ A = คำแนะนำในตารางนี้ แนะนำตาม ACGIH 2017 [1] ยกเว้นอลูมิเนียม (Aluminium), นิกเกิล (Nickel), แมงกานีส (Manganese) และซีลีเนียม (Selenium) แนะนำตาม DFG 2016 [3], B = เป็นธาตุกึ่งโลหะ, C = เป็นธาตุโลหะ, คำย่อเวลาเก็บ NC = Not critical (เวลาใดก็ได้), PTS = Prior to shift (ก่อนเข้ากะ), EWW = End of shift at end of workweek (หลังเลิกกะสุดท้ายของสัปดาห์), DS = During shift (ระหว่างกะ ควรทำงานไปแล้วอย่างน้อย 2 ชั่วโมง), EOS = End of shift (หลังเลิกกะ)

เอกสารอ้างอิง

1. American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). TLVs and BEIs. Cincinnati: ACGIH; 2017.
2. American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). Documentation of the threshold limit values for biological exposure indices, 7th ed. Cincinnati: ACGIH; 2017.
3. Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG). List of MAK and BAT values, 2016. Report 52, Permanent Senate Commission for the Investigation of Health Hazards of Chemical Compounds in the Work Area. Weinheim: Wiley-VCH; 2016.
4. Lauwerys RR, Hoet P. Industrial chemical exposure: Guidelines for biological monitoring. 3rd ed. Florida: CRC Press; 2001.

5. Sjögren B, Elinder CG, Lidums V, Chang G. Uptake and urinary excretion of aluminum among welders. *Int Arch Occup Environ Health* 1988;60(2):77-9.
6. Järup L, Roggenfelt A, Elinder CG, Nogawa K, Kjellström T. Biological half-time of cadmium in the blood of workers after cessation of exposure. *Scand J Work Environ Health* 1983;9(4):327-31.
7. Mosconi G, Bacis M, Vitali MT, Leghissa P, Sabbioni E. Cobalt excretion in urine: results of a study on workers producing diamond grinding tools and on a control group. *Sci Total Environ* 1994;150(1-3):133-9.
8. Crossgrove J, Zheng W. Manganese toxicity upon overexposure. *NMR Biomed* 2004;17(8):544-53.
9. O'Neal SL, Zheng W. Manganese toxicity upon overexposure: a decade in review. *Curr Environ Health Rep* 2015;2(3):315-28.
10. Outzen M, Tjønneland A, Larsen EH, Andersen KK, Christensen J, Overvad K, et. al. The effect on selenium concentrations of a randomized intervention with fish and mussels in a population with relatively low habitual dietary selenium intake. *Nutrients* 2015;7(1):608-24.