

## Die Chemie der menschlichen Exposition gegenüber Aluminium (Teil Drei)

Regel Nummer drei bringt den Kontext

von Dr. Christopher Exley

8. Juli 2024

Im letzten Teil der Trilogie untersuchen wir, wie die Regeln für die Chemie der menschlichen Exposition gegenüber Aluminium gelten.

Im letzten Teil der Trilogie untersuchen wir, wie die Regeln für die Chemie der menschlichen Exposition gegenüber Aluminium in realen Situationen angewendet werden.

### **Regel Nummer Drei**

*Verstehen Sie die entscheidende Bedeutung des Expositionsregimes.*

Die Grundlagen der Chemie der menschlichen Exposition gegenüber Aluminium sind relativ unkompliziert, da sie die Abgabe von  $\text{Al}^{3+}(\text{aq})$  an Zielgruppen definieren.

Die menschliche Exposition gegenüber Aluminium muss jedoch letztendlich definiert werden, indem Gleichung 5 (siehe Teil Zwei) in den Kontext des Exposoms von Aluminium gestellt wird, vom Expositionsursprung bis zum Expositionsergebnis, der biologischen Reaktion.

Dieses mangelnde Verständnis ist vor allem bei der Anwendung von Richtlinien zur menschlichen Exposition gegenüber Aluminium wie tolerierbaren wöchentlichen Aufnahmemengen (TWI) und ähnlichen Indizes von größter Bedeutung. Obwohl es keine Vorschriften zur Aluminiumexposition des Menschen gibt, gibt es viele Beispiele für diese bedeutungslosen Indizes, deren Zweck es zu sein scheint, die Bevölkerung von der Sicherheit von Aluminiumprodukten in ihren unzähligen Anwendungen zu überzeugen.

Eines der besten Beispiele für diese bequeme Unwissenheit ist vielleicht der Vergleich zwischen der Aluminiumexposition über den Magen-Darm-Trakt und der Aluminiumexposition durch die Verwendung als Adjuvans bei Impfungen und Immuntherapien.

Wie oft wurde uns gesagt, dass

*... der Aluminiumgehalt eines Impfplans (über einen bestimmten Zeitraum) im Vergleich zum Aluminiumgehalt einer alltäglichen Ernährung unbedeutend ist...*

Die Schlussfolgerung ist, dass nur die Aluminiummenge wichtig ist, um seine potenzielle Toxizität für den Menschen zu verstehen. Weder die Form des Aluminiums noch der Expositionsweg werden als besonders wichtig erachtet. Dies ist ein bequemes und oft zitiertes Argument zur Unterstützung der Sicherheit von Aluminiumadjuvantien in Impfstoffen.

Ob zu Recht oder aus Unwissenheit, dieses Argument ist jedoch völlig haltlos. Der Aluminiumgehalt eines einzelnen Impfstoffs liegt normalerweise im Bereich von 0,25–1,25 mg/ml. Dies ist eine sehr hohe Gesamtkonzentration an Aluminium, beispielsweise entsprechen 1,0 mg/ml 37 mM. Ein typisches Injektionsvolumen beträgt 1,0 ml, sodass die Konzentration des nun systemischen (im Körper befindlichen) Aluminiums an der Injektionsstelle unmittelbar nach der Impfung ungefähr 37 mM beträgt, da das Volumen des Verdünnungsmittels (z. B. der Muskelinterstitialflüssigkeit) an der Injektionsstelle im Vergleich zum Injektionsvolumen vernachlässigbar ist.

Aluminium ist unter den Bedingungen der Injektionsstelle extrem zytotoxisch. Während der Großteil des Gesamtaluminiums als Aluminiumbelastung,  $\text{Al}_B$  (siehe Gleichung 5 in Teil Zwei), definiert werden könnte, ist der biologisch reaktive Anteil,  $\text{Al}_{BR}$ , hoch genug

und bleibt lange genug bestehen, um biologisch verfügbar zu sein,  $Al_{BA}$ , und führt zum Zelltod, der als Entzündung (rote Markierung) an der Injektionsstelle beobachtet wird.

Es scheint oft vergessen zu werden, und manche vergessen vielleicht auch ganz bequemerweise, dass der Erfolg von Aluminiumadjuvantien bei der Stimulierung der Immunität teilweise auf ihrer Toxizität an der Injektionsstelle beruht. Die Toxizität von Aluminiumadjuvantien ist jedoch nicht unbedingt auf die Freisetzung von  $Al_{3+}(aq)$  an der Injektionsstelle beschränkt. Die Toxizität in unmittelbarer Nähe der Injektionsstelle zieht viele Arten eindringender Zellen an, die sich daran machen, die zytotoxischen Überreste zu „beseitigen“, einschließlich der Internalisierung eines Großteils, wenn nicht des gesamten verbleibenden partikulären Aluminiums ( $Al_B$ ).

Wir wissen jetzt, dass diese immunreaktiven Zellen ihr Zytoplasma mit Aluminiumadjuvans beladen können, ohne dass ihre Lebensfähigkeit dadurch unmittelbar beeinträchtigt wird. Sie werden zu Kurieren und transportieren ihre Aluminiumladung durch den ganzen Körper. Irgendwann wird ihre Aluminiumladung, die zunächst in lysosom-ähnlichen Vesikeln enthalten ist, freigesetzt, was zum Tod der Kurierzelle führt. Diese Zytotoxizität tritt an Stellen auf, die weit von der Injektionsstelle entfernt sind und Lymphknoten oder sogar Gehirngewebe umfassen können. Ihr Schicksal wird für das Gewebe am Zielort schlimme Folgen haben, da nicht nur ihr Zelltod schädlich ist, sondern die Freisetzung erheblicher Mengen biologisch reaktiven Aluminiums möglicherweise die Toxizität noch verstärkt.

Die Menge an Aluminium in einem bestimmten Impfstoffpräparat könnte im Vergleich zu der Menge an Aluminium, die in den Magen-Darm-Trakt gelangt, als unbedeutend angesehen werden, aber das Potenzial dieses Aluminiums, Toxizität zu erzeugen, ist an der Injektionsstelle des Impfstoffs unvermeidlich und kann auch in Zielorganen, die von der Injektionsstelle entfernt sind, und in Zielorganen wie dem Gehirn auftreten.

Regel Nummer 3, das Verständnis des Expositionsregimes, hilft uns zu verstehen, warum Aluminiumadjuvantien für impfbedingte Nebenwirkungen bei anfälligen Personen verantwortlich sind.

Um die Chemie der menschlichen Aluminiumexposition zu verstehen, ist es wichtig, die einfachen Tatsachen zu erkennen und zu berücksichtigen, dass nicht alle Aluminiumsalze biologisch gleich sind und dass nicht alle Expositionswege gegenüber Aluminium in gleicher Weise eine biologische Reaktion oder Toxizität hervorrufen.

In meinem nächsten Beitrag werde ich eine kurze Zusammenfassung dieser Trilogie schreiben. Etwas, das man mitnehmen und mit all jenen teilen kann, die an der Bedeutung der Chemie der menschlichen Aluminiumexposition zweifeln.

Übersetzung: Reinhard Lauer