

**“Fear of danger is ten thousand times
more terrifying than danger itself.”**

Daniel Defoe (1660-1731)



ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ

Μιχάλης Λεοτσινίδης Καθηγητής

Κίνδυνος: αντιλήψεις

- Οι εμπειρογνώμονες και το κοινό συχνά διαφωνούν σχετικά με τον κίνδυνο.
- Οι άνθρωποι θα αποδεχθούν κινδύνους 1.000 φορές μεγαλύτερους αν είναι σε εθελοντική βάση (π.χ. οδήγηση αυτοκινήτου) από ό, τι αν είναι σε ακούσια (π.χ. μια πυρηνική καταστροφή) [Starr 1969].

Ανάλυση Κινδύνου

Η ανάλυση κινδύνου με την ευρεία έννοια συμπεριλαμβάνει:

- **την εκτίμηση του κινδύνου,**
- **τον χαρακτηρισμό του κινδύνου,**
- την κοινοποίηση του κινδύνου,
- τη διαχείριση του κινδύνου,
- τη πολιτική που σχετίζεται με τον κίνδυνο.

Τοξικολογία και Ανάλυση Κινδύνου

■ Εκτίμηση του κινδύνου

Επιστημονική αξιολόγηση της πιθανότητας ζημίας που απορρέει από την έκθεση σε τοξικές ουσίες. (EPA)

■ Χαρακτηρισμός κινδύνου

Περιγραφή της φύσης και του μεγέθους του κινδύνου για την υγεία που συνδυάζει τον προσδιορισμό και τη περιγραφή της τοξικής ουσίας με τα αποτελέσματα εκτίμησης της έκθεσης και περιγράφει την αβεβαιότητα που συνδέεται με κάθε βήμα.

ΤΡΙΠΤΥΧΟ ΚΙΝΔΥΝΟΥ



Κατηγορίες εκτίμησης κινδύνου- Προσέγγιση κατά WHO

- Εκτίμηση κινδύνου ανθρώπινης υγείας:

Η εκτίμηση της πιθανότητας των δυνητικά αρνητικών επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία λόγω της έκθεσης σε περιβαλλοντικούς κινδύνους.

- Οικολογική εκτίμηση κινδύνου:

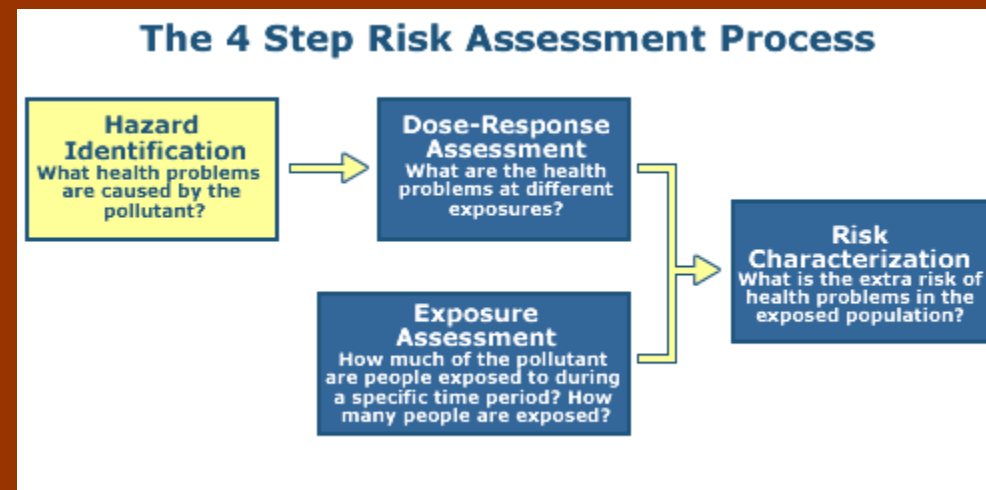
Διαδικασία που υπολογίζει τη πιθανότητα των ανεπιθύμητων οικολογικών συνεπειών που προκύπτουν ως αποτέλεσμα των ανθρώπινων δραστηριοτήτων.

Εκτίμηση κινδύνου - Προβλήματα

- Αβεβαιότητα αλλά και έλλειψη, πολλές φορές, επιστημονικών δεδομένων.
- Διακύμανση στις καμπύλες δόσης-αποτελέσματος
- Εφαρμογή στον άνθρωπο πειραματικών αποτελεσμάτων από τα ζώα.
- Προέκταση της καμπύλης από τη περιοχή υψηλής δόσης - αποτέλεσμα στη χαμηλή δόση.

Στάδια εκτίμησης κινδύνου

- Προσδιορισμός επικινδυνότητας
- Εκτίμηση δόσης- απόκρισης
- Εκτίμηση έκθεσης
- Χαρακτηρισμός κινδύνου



Προσδιορισμός επικινδυνότητας

- Ο προσδιορισμός επικινδυνότητας περιλαμβάνει
 1. συλλογή και αξιολόγηση των τοξικολογικών δεδομένων για βλάβες ή ασθένειες στην υγεία που προκαλεί μια χημική ουσία,
 2. συνθήκες έκθεσης υπό τις οποίες προκαλείται η βλάβη ή η ασθένεια.
- Οι χημικές ουσίες που επιλέχθηκαν για την μελέτη ορίζονται ως «χημικά δυνητικού ενδιαφέροντος» .

Προσδιορισμός Επικινδυνότητας: Δεδομένα

- Χρησιμοποιούνται δεδομένα από οξείες, χρόνιες ή και μέσης διάρκειας μελέτες δόσης-απόκρισης.
 - Η εκτίμηση κινδύνου στον άνθρωπο περιλαμβάνει ιεραρχική ταξινόμηση των μελετών βασισμένες στον άνθρωπο ή σε άλλα θηλαστικά.
 - Η περιβαλλοντική εκτίμηση κινδύνου βασίζεται σε μελέτες σε διαφορετικά είδη και σε διάφορα επίπεδα. Τα επιλεγόμενα είδη για δοκιμές είναι αντιπροσωπευτικά υφισταμένων ειδών ενώ λαμβάνονται υπόψη και πρακτικοί παράγοντες όπως ευκολία καλλιέργειας, ευαισθησία, διαθεσιμότητα καθώς και υφιστάμενες βάσεις δεδομένων.

Στάδια εκτίμησης κινδύνου

- Προσδιορισμός επικινδυνότητας
- **Εκτίμηση δόσης- απόκρισης**
- Εκτίμηση έκθεσης
- Χαρακτηρισμός κινδύνου

Εκτίμηση Δόσης - Απόκρισης

- “All substances are poisons; there is none which is not a poison. The **right dose differentiates a poison and a remedy**”.

Paracelsus, 1538

Aspirin taken for a headache:

- - one lick of a pill won't have desired effect
- - two pills should relieve pain
- - the entire packet could poison

Εκτίμηση Δόσης - Απόκρισης

- Η αξιολόγηση της Δόσης – Απόκρισης περιγράφει τη ποσοτική σχέση μεταξύ του βαθμού της έκθεσης σε μία χημική ουσία και τη σοβαρότητα της βλάβης ή της ασθένειας.
- Η περιγραφή είναι διαφορετική για τις καρκινογόνες και τις μη καρκινογόνες ουσίες.

Μη-Καρκινογόνες Συνέπειες

- Ο υπολογισμός των επιτρεπτών επιπέδων χρόνιας έκθεσης βασίζεται στην

Επιτρεπτή Ημερήσια Πρόσληψη

- Η Επιτρεπτή Ημερήσια Πρόσληψη προσδιορίζεται εφαρμόζοντας παράγοντες ασφαλείας επί της υψηλότερης δόσης, για την οποία έχει δειχθεί ότι δεν είναι τοξική στον άνθρωπο ή στα ζώα μέσα από χρόνιες μελέτες.

Μη-Καρκινογόνες Συνέπειες

- Η ΕΡΑ έχει διαφοροποιήσει ελαφρώς την Επιτρεπτή Ημερησία Πρόσληψη. Το αποδεκτό επίπεδο ασφαλείας είναι γνωστό ως
- Δόση Αναφοράς *Reference Dose (RfD)*

Ημερησία έκθεση ανθρώπινων πληθυσμών περιλαμβανομένων ευαίσθητων ομάδων, που δεν προκαλεί βλαβερές επιδράσεις στην υγεία καθ' όλον τον βίο.

Μη-Καρκινογόνες Συνέπειες

- Η ΕΡΑ θεωρεί ότι οι άνθρωποι είναι τόσο ευαίσθητοι όσο τα πιο ευαίσθητα είδη (εκτός αν υπάρχουν αντίθετα δεδομένα).

$$\text{RfD} = \frac{\text{NOAEL or LOAEL}}{\text{UF1} \times \text{UF2} \dots \times \text{Ufx}}$$

Μη-Καρκινογόνες Συνέπειες

- Παράγοντες Ασφαλείας/Αβεβαιότητας
 - x10 Ανθρώπινη μεταβλητότητα
 - x10 Μεταφορά δεδομένων από ζώα στον άνθρωπο
 - x10 Χρήση δεδομένων από μη χρόνιες μελέτες
 - x10 Χρήση LOAEL αντί NOAEL
 - x10 Ανεπαρκής βάση δεδομένων
 - x0.1 έως 10 MF Παράγοντες προσαρμογής

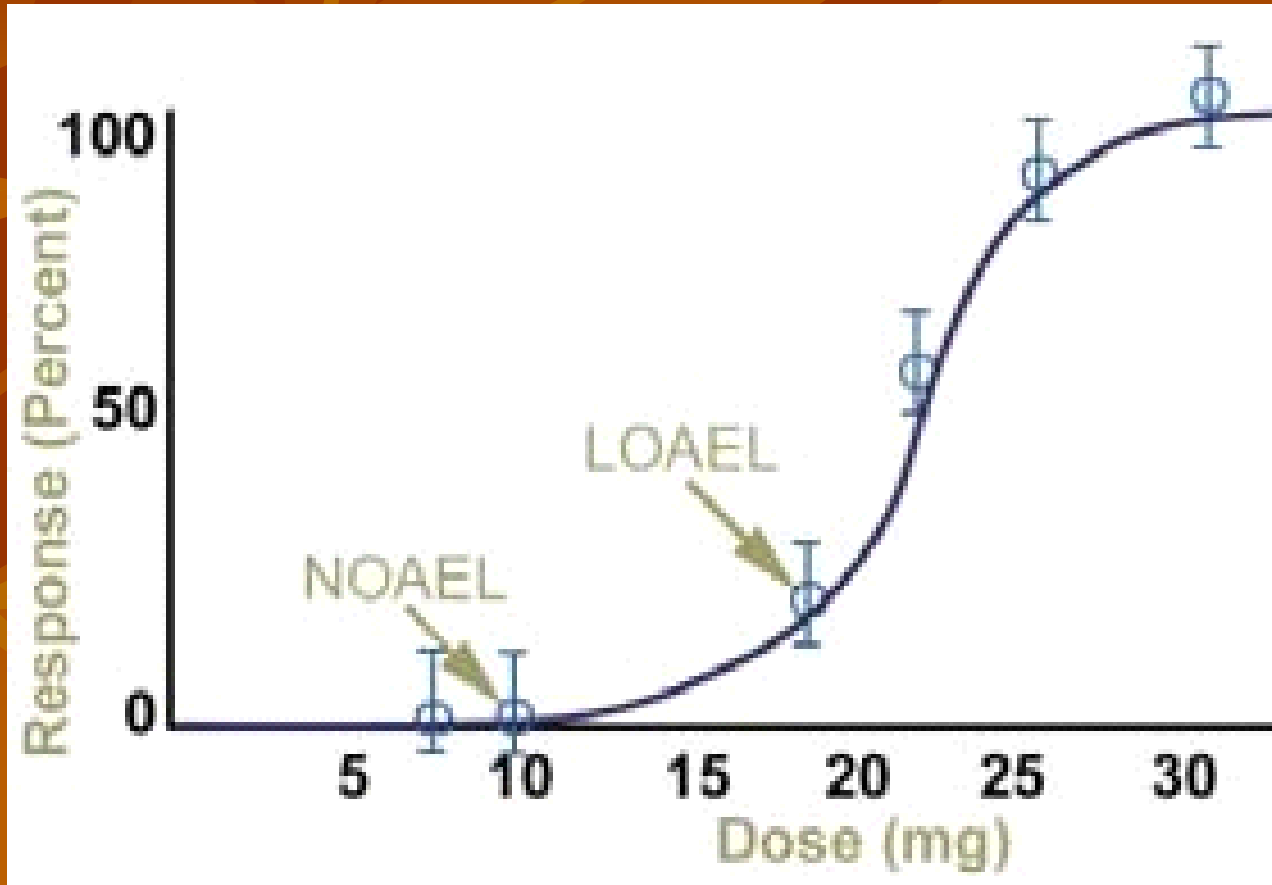
Μη-Καρκινογόνες Συνέπειες

- Ελάχιστα επίπεδα επικίνδυνότητας (MRLs), χρησιμοποιούνται από το ATSDR, είναι συναφή της Δόσης Αναφοράς της EPA (RfD) και της Συγκέντρωσης Αναφοράς (RfC).
- MRL είναι μια εκτίμηση της ημερήσιας έκθεσης του ανθρώπου σε μια επικίνδυνη ουσία η οποία πιθανόν να μην έχει αξιόλογες μη-καρκινικές συνέπειες για ένα συγκεκριμένο χρόνο έκθεσης .

Μη-Καρκινογόνες Συνέπειες

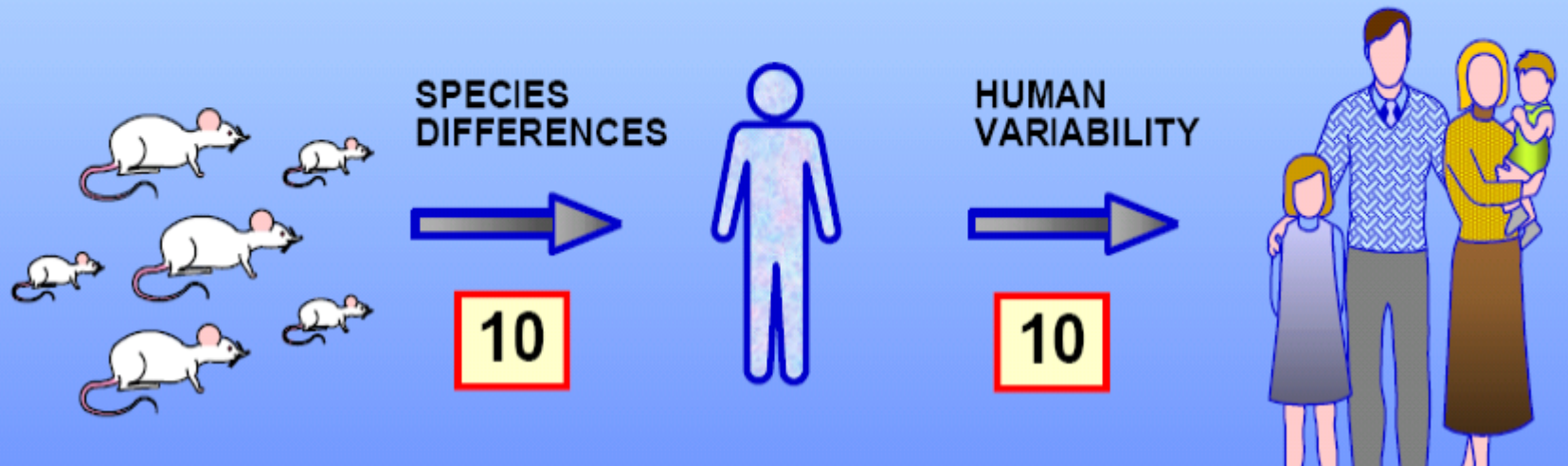
- Για την εκτίμηση κινδύνου στον άνθρωπο από μια χημική ουσία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως NOAEL ή LOAEL, οποιοδήποτε τοξικολογικό δεδομένο με την προϋπόθεση ότι είναι το πιο ευαίσθητο και υπάρχει πιθανότητα να συμβεί σε ανθρώπους.
- Για μια Περιβαλλοντική εκτίμηση κινδύνου λαμβάνεται υπόψη η θνησιμότητα, η αύξηση, η ανάπτυξη και η αναπαραγωγή. Σε ορισμένες περιπτώσεις είμαστε υποχρεωμένοι να εφαρμόζουμε αποτελέσματα από υποκατάστατα είδη στα είδη ενδιαφέροντος, ή να χρησιμοποιούμε τα δεδομένα μελετών μικρής διάρκειας σαν να ήταν από χρόνιες μελέτες.

Ανίχνευση απόκρισης



Μη-Καρκινογόνες Συνέπειες

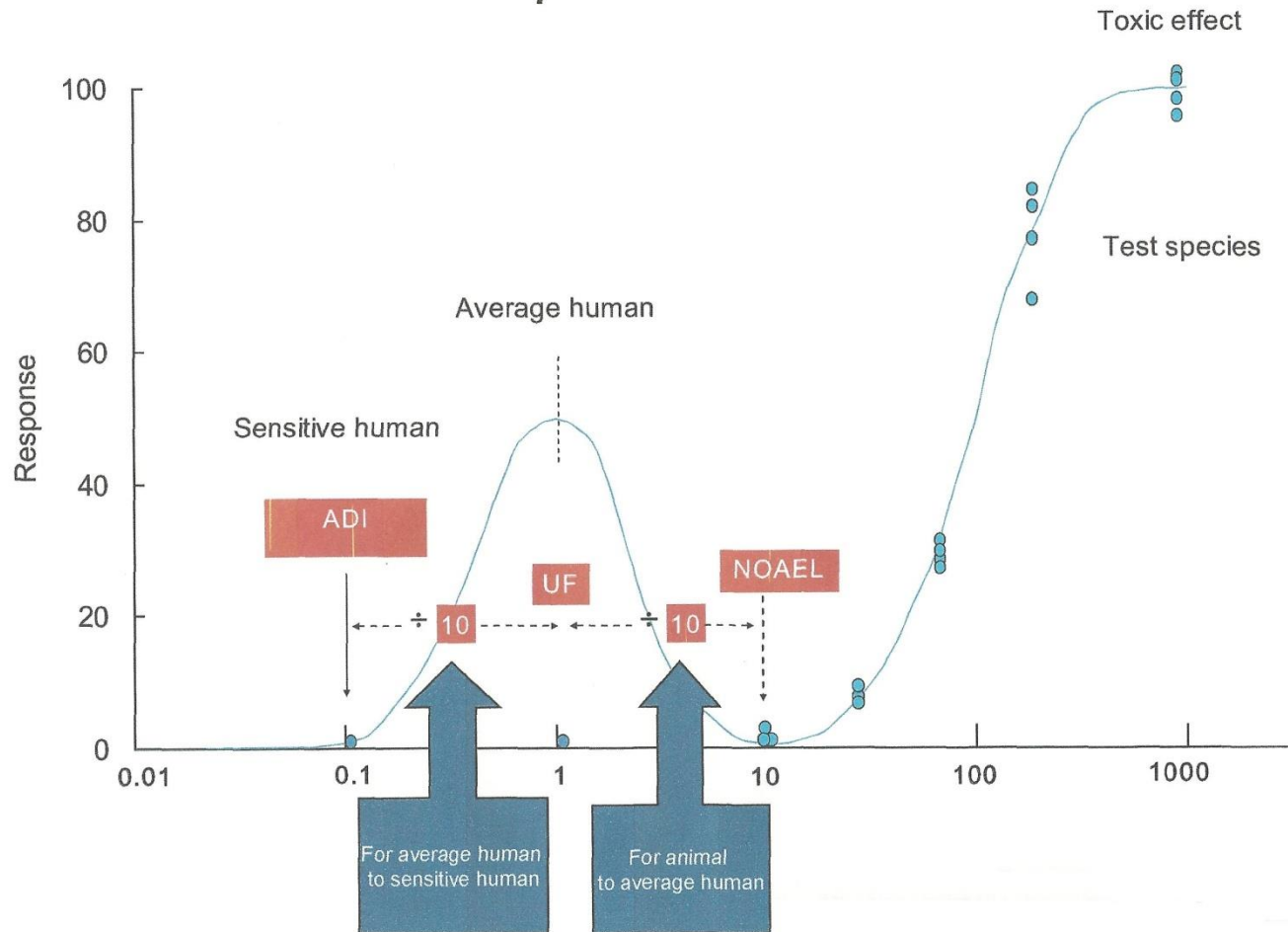
The use of uncertainty or safety factors



Uncertainty or safety factors are used to extrapolate from a group of test animals to an average human and from average humans to potentially sensitive sub-populations

Μη-Καρκινογόνες Συνέπειες

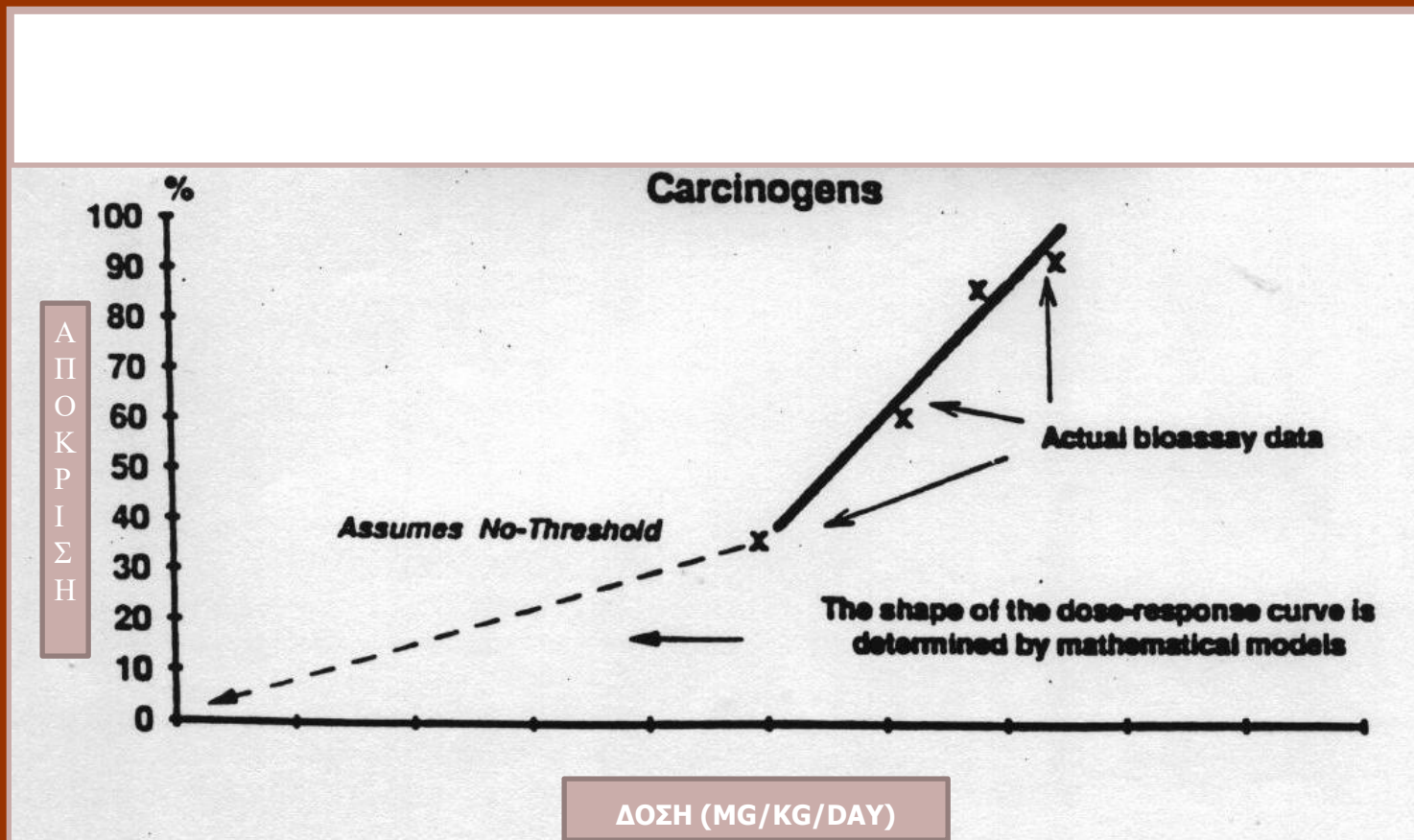
Use of dose-response curve to derive ADI



Καρκινογόνες Συνέπειες

- Χρησιμοποιούνται μαθηματικά μοντέλα για να εφαρμόσουν δεδομένα μελετών υψηλών δόσεων, που χρησιμοποιούνται σε πειράματα ζώων, στις χαμηλές δόσεις όπου και συνήθως εκτίθενται οι άνθρωποι σε χρόνια βάση.

Καρκινογόνες Συνέπειες



Καρκινογόνες Συνέπειες

Γραμμικό μοντέλο: (Linearized multi-stage model)	Παραδοχή περί ύπαρξης πολλαπλών σταδίων για το καρκίνο. Προσαρμογή καμπύλης σε πειραματικά δεδομένα Γραμμικότητα από το άνω επίπεδο εμπιστοσύνης μέχρι το μηδέν
Μοντέλο ενός χτυπήματος (One-hit model)	Παραδοχή περί ενός σταδίου για το καρκίνο και ότι ένα μόριο η επίδραση ακτινοβολίας επάγει κακοήθειες. Πολύ συντηρητικό
Μοντέλο πολλαπλών χτυπημάτων (Multihit model)	Παραδοχή ότι χρειάζονται μερικές αλληλεπιδράσεις πριν τη διαφοροποίηση των κυττάρων. Λιγότερο συντηρητικό
Probit μοντέλο	Παραδοχή περί log –normal κατανομής για τις ανεκτικότητες του πληθυσμού. Κατάλληλο για οξείες τοξικότητες. Υπό αμφισβήτηση για καρκίνους
Φαρμακοκινητικά μοντέλα βασισμένα στη φυσιολογία	Στον υπολογισμό εμπεριέχει φαρμακοκινητικά και μηχανιστικά δεδομένα. Απαιτούνται πολλά δεδομένα και παρότι τα μοντέλα είναι πολλά υποσχόμενα, βρίσκονται σε περιορισμένη εφαρμογή

Καρκινογόνες Συνέπειες

- Η κυριότερη παράμετρος που μπορεί να προκύψει από μία εκτίμηση κινδύνου για καρκινογόνες ουσίες είναι ο “slope factor”, που ποσοτικοποιεί τη σχέση δόσης – απόκρισης

Καρκινογόνες Συνέπειες

- Slope Factor = Η εκτίμηση του άνω ορίου της πιθανότητας απόκρισης, ανά μονάδα πρόσληψης ενός χημικού, κατά τη διάρκεια της ζωής.
 - Κίνδυνος ανά μονάδα δόσης
 - Μονάδες κινδύνου $(\text{mg}/\text{kg}\text{-day})^{-1}$
 - Σύμβολο για τον Slope Factor = q_1^*

Κατηγοριοποίηση καρκινογόνων

EPA Cancer Assessment Categories

Group A — human carcinogen

**Sufficient human evidence for
causal association between
exposure and cancer**

Group B1 — probably human
carcinogen

Limited evidence in humans

Group B2 — probably human
carcinogen

**Inadequate evidence in humans,
sufficient evidence in animals**

Group C — possible human
carcinogen

Limited evidence in animals

Group D — not classifiable as
to human carcinogenicity

Inadequate evidence in animals

Group E — no evidence of
carcinogenicity in humans

**At least two adequate animal tests
or both epidemiology and animal
studies which are negative**

Στάδια εκτίμησης κινδύνου

- Προσδιορισμός επικινδυνότητας
- Εκτίμηση δόσης- απόκρισης
- Εκτίμηση έκθεσης
- Χαρακτηρισμός κινδύνου

Εκτίμηση της Έκθεσης

- Η εκτίμηση έκθεσης περιλαμβάνει τη περιγραφή της φύσης και του μεγέθους διαφόρων πληθυσμών που εκτίθενται σε ένα χημικό παράγοντα καθώς και το εύρος και τη διάρκεια της έκθεσης.
- Χωρίς έκθεση δεν μπορούμε να συλλέξουμε τοξικολογικά δεδομένα.

Στάδια εκτίμησης της έκθεσης

- Χαρακτηρισμός της έκθεσης
- Προσδιορισμός των «μονοπατιών» έκθεσης
- Ποσοτικοποίηση της έκθεσης

Χαρακτηρισμός της έκθεσης

- Ποιες συνθήκες οδηγούν στην έκθεση.
- Ποιοι παράγοντες οδηγούν σε υψηλή, μέτρια ή χαμηλή έκθεση;
- Περιγραφή συνθηκών για διάφορα σενάρια έκθεσης.
- Ποιοι είναι οι άνθρωποι ή τα ζώα εκτίθενται;

Προσδιορισμός των «οδών» έκθεσης

- Μολυσμένα υπόγεια ύδατα – κατάποση (πόσιμο νερό), δερματική επαφή (κολύμβηση), εισπνοή πτητικών οργανικών ενώσεων (ντους)
- Επιφανειακά νερά και ιζήματα – Τυχαία κατάποση και δερματική απορρόφηση των ρύπων (άτομα σε υδατικά συστήματα)
- Ρυπασμένα τρόφιμα – κατάποση ρυπασμένων ιστών ψαριών, κρέατος και γαλακτοκομικών, φρούτα και λαχανικά από ρυπασμένα εδάφη.

Προσδιορισμός των «οδών» έκθεσης

- Επιφανειακά εδάφη– κατάποση και δερματική απορρόφηση των ρύπων από παιδιά που παίζουν στο χόμα.
- Μεταναστεύουσα σκόνη και εκπομπές VOC – εισπνοή από τους περίοικους ή από τους εργαζομένους στην περιοχή
- Υπέδαφος και αερογενείς ρυπαντές
- Μολυσμένο μητρικό γάλα– βρέφη που θηλάζουν των οποίων οι μητέρες είχαν εκτεθεί σε τοξικούς λιποφιλικούς ρύπους.

«Οδοί» Έκθεσης

Όλοι οι πιθανοί «οδοί» έκθεσης υπολογίζονται αναλύοντας:

- τους ρύπους που απελευθερώνονται
- τη συμπεριφορά και τη μεταφορά των ρύπων
- τους πληθυσμούς που εκτίθενται στους ρύπους

Ποσοτικοποίηση της Έκθεσης

- Γενικό συμπέρασμα
 - [Συγκέντρωση] Χημικής Ουσίας x Πρόσληψη x Παράγοντα παραμονής x Διάρκεια έκθεσης

Μη-Καρκινογόνες ουσίες

- Μέγιστη Ημερήσια Δόση (MDD)

Καρκινογόνες ουσίες

- Μέση Ημερήσια δια Βίου Δόση (LADD)

Μέση Ημερήσια δια Βίου Δόση (LADD)

[Συγκέντρωση] Χημικής ουσίας x Ρυθμός
επαφής x Αναλογούν κλάσμα επαφής x
Διάρκεια έκθεσης

Βάρος σώματος x Διάρκεια ζωής

LADD παράδειγμα υπολογισμού

- Ο υπολογισμός της ημερήσιας κατανάλωσης βασίζεται στη παραδοχή ότι καταναλώνονται τρία γεύματα ετησίως από ψάρια που αλιεύθηκαν για λόγους αναψυχής. Κάθε γεύμα αποτελείται από 150 g και ισοκατανέμεται σε 365 ημέρες ανά έτος. Ο ρυθμός κατανάλωσης για μέσες εκτιμήσεις υπολογίζεται σε 1,2g ψαριού ανά ημέρα. Το εκτιμώμενο επίπεδο διοξίνης στα ψάρια είναι 3×10^{-9} mg/g ψαριού.
- Η εκτίμηση της 'High End' έκθεσης (>90^{ου} εκατοστημορίου) υποθέτει κατανάλωση δέκα γευμάτων το χρόνο από 200 g το καθένα και επίπεδα διοξίνης 15ppt στον ιστό των ψαριών, βασισμένα σε μελέτη κατάντι 104 μονάδων χαρτόμαζας. Ο ρυθμός κατανάλωσης εκτιμάται σε 4,1 g ψαριού ανά ημέρα.

LADD παράδειγμα υπολογισμού

LADD =

$$= \frac{\frac{3 \times 10^{-9} \text{ mg διοξίνης}}{\text{g ψαριού}} \times \frac{150 \text{ g ψαριού}}{\text{γεύμα}} \times \frac{3 \text{ γεύματα}}{\text{έτος}} \times 1,0 \text{ κλάσμα επαφής}}{70 \text{ κιλά β.σ.} \times \frac{365 \text{ ημέρες}}{\text{έτος}}} \times \frac{70 \text{ έτη}}{\text{διάρκεια ζωής}}$$

$$\Rightarrow LADD = 5,3 \times 10^{-11} \text{ mg/kg/day}$$

* High end έκθεση

$$LADD = 1,2 \times 10^{-9} \text{ mg/kg/day}$$

Στάδια εκτίμησης κινδύνου

- Προσδιορισμός επικινδυνότητας
- Εκτίμηση δόσης- απόκρισης
- Εκτίμηση έκθεσης
- **Χαρακτηρισμός κινδύνου**

Χαρακτηρισμός κινδύνου

- Η εκτίμηση της έκθεσης και τα τοξικολογικά δεδομένα συνεκτιμώνται για το προσδιορισμό της πιθανότητας αρνητικών συνεπειών.
- Ο χαρακτηρισμός κινδύνου διενεργείται για μεμονωμένες χημικές ουσίες και στη συνέχεια αθροίζεται για τα μείγματα χημικών ουσιών – (Παραδοχή προσθετικότητας).

Χαρακτηρισμός κινδύνου

- Για μη-καρκινογόνα χημικά –
 - Η Μέγιστη Ημερήσια Δόση (MDD) συγκρίνεται με το RfD.
Εάν το MDD είναι $<$ RfD, δεν υφίσταται πρόβλημα – εκτός αν μελετάμε πολλές χημικές ουσίες.
 - Για οικολογικής φύσεως θέματα –

Εκτιμώμενη Περιβαλλοντική [Συγκέντρωση] / Συγκέντρωση τοξικού end-point

Εάν το κλάσμα είναι κοντά στην τιμή 1.0 αντιπροσωπεύει **αυξημένο** κίνδυνο

Προσδιορισμός κινδύνου

- Για καρκινογόνα χημικά –

Καθορίζεται “ανώτερο όριο ασφαλείας σχετικά με τον κίνδυνο” (Upper Confidence Limit)

$$\text{UCL Κινδύνου} = \text{Slope Factor} \times \text{LADD}$$

Μονάδες μέτρησης του Slope Factor: $(\text{mg/kg/day})^{-1}$

Μονάδες μέτρησης του LADD: mg/kg/day

Επομένως το Ανώτερο Όριο Ασφαλείας είναι αδιάστατος αριθμός, ο οποίος αντιπροσωπεύει την αύξηση των περιπτώσεων καρκίνου ανά έτος εξ' αιτίας της χημικής ουσίας.

Προσδιορισμός κινδύνου

- Σχεδόν ασφαλής Δόση—

Αρχικά ο ορισμός δόθηκε (1961) για 1 επιπλέον θάνατο από καρκίνο ανά 100 εκατομμύρια ανθρώπους που εκτίθεντο.

Κρίθηκε μη εφαρμόσιμη από τον FDA το 1977

Σήμερα η EPA χρησιμοποιεί 1 επιπλέον θάνατο από καρκίνο ανά 1 εκατομμύριο ανθρώπους σε έκθεση.

Η Καλιφόρνια χρησιμοποιεί έναν επιπλέον θάνατο ανά 100.000 άτομα σε έκθεση

Πόσιμο νερό / μελέτη περίπτωσης

- Προσδιορισμός του προβλήματος
 - Κάδμιο, πιθανή απειλή;

Προσδιορισμός της επικινδυνότητας

Ερώτημα:

Ποια είναι η ταυτότητα της χημικής ουσίας που ενδιαφέρει;

Απάντηση:

Το κάδμιο ορίζεται ως το στοιχείο άμεσου ενδιαφέροντος. Επιπλέον και άλλες χημικές ουσίες περιλαμβανομένων κυανιούχων είναι υπό πιθανή διερεύνηση.

Προσδιορισμός της επικινδυνότητας

- **Ερώτηση:** Είναι το κάδμιο δυνητικά επικίνδυνο για τον άνθρωπο;

- **INCHEM**

CAS No.7440-43-9

Απάντηση: Το κάδμιο είναι επικίνδυνη ουσία και έχει κατηγοριοποιηθεί ως ιδιαίτερα τοξικό και καρκινογόνο στους ανθρώπους.

Χαρακτηρισμός επικινδυνότητας / Προσδιορισμός ορίων ή οδηγών τιμών

- **Ερώτημα:** Ποιες ιδιότητες της χημικής ουσίας μπορούν να προκαλέσουν σοβαρές επιδράσεις επί της υγείας.
- **INCHEM**
 - **Απάντηση:** Τοξικές επιπτώσεις από το κάδμιο: δυσλειτουργία νεφρών, πνευμονικές και ηπατικές βλάβες, οστεοπενίες, υπέρταση και καρκίνος. Όλες οι επιπτώσεις εξαρτώμενες από την οδό, τη δόση και τη διάρκεια έκθεσης
 - Επίσης είναι γνωστό ότι το κάδμιο συσσωρεύεται στα νεφρά.

Χαρακτηρισμός επικινδυνότητας / Προσδιορισμός ορίων ή οδηγών τιμών

Ερώτημα: Υπάρχουν θεσπισμένα ανώτατα όρια ή οδηγοί τιμές από Διεθνείς Οργανισμούς

<i>Guidance value</i>	<i>Organization</i>	<i>Reference</i>
Acceptable daily intake (ADI)	FAO/WHO	IPCS (2010a)
Acute reference dose (ARfD)	FAO/WHO	IPCS (2010a)
Tolerable daily intake (TDI)	FAO/WHO, WHO	FAO/WHO (2010a); IPCS (2010b)
Provisional tolerable weekly intake (PTWI)	FAO/WHO, WHO	FAO/WHO (2010a); IPCS (2010b)
Provisional tolerable monthly intake (PTMI)	FAO/WHO, WHO	FAO/WHO (2010a); IPCS (2010b)

- **Απάντηση:** Πληροφόρηση περί ύπαρξης ανωτάτων ορίων και οδηγών τιμών για το κάδμιο στα πόσιμα νερά και στις τροφές διεθνώς.

Χαρακτηρισμός επικινδυνότητας / Προσδιορισμός ορίων ή οδηγών τιμών

Ερώτημα: Ποιες παραδοχές για την έκθεση και τη δόση εμπερικλείει ο καθορισμός οδηγών τιμών για το κάδμιο από τη Π.Ο.Υ.;

Απάντηση: Η θεσπισμένη οδηγός τιμής για το κάδμιο είναι βασισμένη σε μέσο ρυθμό κατανάλωσης νερού 2 L/μέρα, μέσο βάρος σώματος 60kg και ποσοστό από το νερό στο PTWI 10%.

- **Ερώτημα:** Οι παραπάνω παραδοχές αντανακλούν τις ειδικές τοπικές συνθήκες;
- **Απάντηση:** Η οδηγός τιμή των 0,003 mg/L είναι επαρκής και κατάλληλη να χρησιμοποιηθεί για τις ειδικές τοπικές συνθήκες.

Εκτίμηση έκθεσης

- **Ερώτημα:** Με ποιους τρόπους μπορούν οι άνθρωποι να έρθουν σε επαφή με το στοιχείο αυτό;

Απάντηση: Οι άνθρωποι έρχονται σε επαφή δια μέσου του νερού. Η πόση, το μαγείρεμα και η διαδερματική απορρόφηση μέσω του μπάνιου είναι οι «οδοί» έκθεσης.

Εκτίμηση έκθεσης

- **Ερώτημα:** Ποιο είναι το μέγεθος της έκθεσης;

<i>Location</i>	<i>Average concentration (µg/l)</i>	<i>Concentration range (µg/l)</i>
Upstream of facility	<LOD	<LOD–0.2
Downstream of facility	0.4	0.1–1.0
Town hall water	0.3	0.2–0.8

LOD, limit of detection (0.1 µg/l)

Απάντηση: Ποσοτική εκτίμηση σε έκθεση καδμίου με επίπεδα στο πόσιμο νερό περίπου ίδια με τα επίπεδα στο ποτάμι κατάντι των εγκαταστάσεων.

Εκτίμηση έκθεσης

Ερώτημα: Ποια είναι η πιθανή χρονική διάρκεια της έκθεσης;

Απάντηση: Πληροφόρηση περί τύπου έκθεσης μακράς διάρκειας, με τα επίπεδα έκθεσης να μπορούν να ποικίλλουν ως αποτέλεσμα της λειτουργίας των εγκαταστάσεων.

Εκτίμηση έκθεσης

Ερώτημα: Ποια είναι η κατάλληλη έκφραση της έκθεσης (μονάδες) για το χαρακτηρισμό του κινδύνου επί της υγείας;

Απάντηση: Για το χαρακτηρισμό του κινδύνου είναι απαραίτητη η γνώση της μέσης συγκέντρωσης έκθεσης μακράς διάρκειας.

Χαρακτηρισμός κινδύνου

- **Ερώτημα:** Πως αξιολογείται η υπολογισθείσα έκθεση σε σχέση με το ανώτατο επιτρεπτό όριο ή την οδηγό τιμή;

Απάντηση: Ο λόγος έκθεσης προς την ανώτατη τιμή είναι περίπου 0,1 ($0,0003\text{mg/L} \div 0,003\text{mg/L}$).

Άρα η έκθεση σε κάδμιο δεν είναι πιθανό να προκαλέσει σοβαρές επιπτώσεις επί της υγείας.

Συμπέρασμα

Έγινε εκτίμηση των δυνητικών κινδύνων επί της υγείας που σχετίζονται με τη πρόσληψη καδμίου από το πόσιμο νερό σε μια κοινότητα που υδρεύεται από παρακείμενο ποταμό στον οποίο απορρίπτονται απόβλητα μεταλλουργίας.

Αναφέρεται ότι το κάδμιο συσσωρεύεται στα νεφρά, τα οποία είναι και τα κύρια όργανα - στόχος για τοξικότητα καδμίου. Η εκτίμηση των πιθανών κινδύνων επί της υγείας από την μακράς διάρκειας έκθεση σε κάδμιο από το πόσιμο νερό, είναι σε πρώτη προτεραιότητα για τις τοπικές αρχές.

Επελέγη η οδηγός τιμή για το κάδμιο στο πόσιμο νερό ως η πλέον κατάλληλη για την εκτίμηση του πιθανού κινδύνου.

Συμπέρασμα

- Η εκτίμηση της έκθεσης βασίστηκε σε μετρήσεις του καδμίου στο νερό σε πέντε διαφορετικές μέρες. Οι μέσες συγκεντρώσεις του καδμίου στο πόσιμο νερό ήταν δέκα φορές χαμηλότερες από τα ανώτατα επιτρεπτά όρια. Επομένως δεν αναμένονται δυσμενείς επιδράσεις επί της υγείας από την μακροχρόνια έκθεση σε αυτά τα επίπεδα.
- Οι αρχές οφείλουν να συλλέξουν περισσότερες πληροφορίες για την λειτουργία των εγκαταστάσεων και δεδομένα δειγματοληψιών που θα αντιπροσωπεύουν μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

Άσκηση

- Υπολογίσατε το «incremental life time risk» για ενήλικα που καταναλώνει νερό γεώτρησης που περιέχει 2,0μg/l *N-Nitrosodimethylamine* (NDMA).
- $PF=5.1 \times 10$ (mg/Kg · day)
- Κατανάλωση νερού 2L/day

NDMA

Trace
constituents:

N-Nitrosodimethylamine

- $CDI = [(2,0 \mu\text{g/L}) \times 2 (\text{L/d}) \times (1 \text{ mg}/10^3 \mu\text{g}) \times 70 \text{ years}] / [(70 \text{ kg} \times 70 \text{ years})] =$
- $0,57 \times 10^{-4} \text{ mg/kg d}$
- Η πιθανότητα ανάπτυξης καρκίνου ατόμου 70Kg για κατανάλωση 2L νερού ημερησίως (lifetime consumption)
 $\text{Risk} = CDI \times PF = [0,57 \times 10^{-4} (\text{mg/kg d})] \times [5.1 \times 10 (\text{mg/Kg} \cdot \text{day})^{-1}] =$
 $2.9 \text{ ανά } 1000 \text{ άτομα}$
- Για περιορισμό του κινδύνου σε 1 ανά 100.000 άτομα
 $10^{-5} = (CDI) \times [5.1 \times 10 (\text{mg/Kg} \cdot \text{day})^{-1}] \rightarrow CDI = 1.96 \times 10^{-7}$
πρέπει η C = 6,9 ng/l
- Αποτελεσματική επεξεργασία: UV ή RO