



Defining the limits of forensic DNA profile interpretation: An assessment of the information content inherent in complex mixtures

CGATACGATATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCAT
ACCAATAGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGAC
TATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGG
GTATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGTAGG
CATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGTAGG

TGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACTATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGT
TAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACTATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGG
GGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACTATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGG

ATGGTCATGACCAGGTAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGG
TCATGACCAGGTAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGG
CCAGGTAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGG
AGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGG
GGTAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGG

Clare Marsden, Norah Rudin, Keith Inman, Kirk Lohmueller

**FORENSIC SCIENCE
ERROR MANAGEMENT
INTERNATIONAL
FORENSICS SYMPOSIUM
JULY 20-24, 2015 • WASHINGTON, DC**



What is the risk of error when interpreting complex DNA profiles?

- We used ground truth samples to establish the foundational limits when interpreting complex DNA profiles
- Error defined as drawing an incorrect inference with regard to whether a specific individual has contributed DNA to a profile

Complex mixtures



$$LR = \frac{\Pr(\text{Evidence} \mid \text{Suspect is contributor})}{\Pr(\text{Evidence} \mid \text{Suspect is not the contributor})}$$

LR values expectation:

LR > 1 if suspect in the mixture.

LR < 1 if suspect not in the mixture.

Does this hold for complex mixtures?

Questions



- To what extent can LR reliably distinguish true-contributors (TC) and known non-contributors (KNC)?
 - Do true contributors always yield $LR > 1$ in complex mixtures?
 - Do known non-contributors give $LR < 1$ in complex mixtures?

Simulations



Generating mixture set:

- C1
 - C2
 - C3
 - C4
 - C5
 - KNC
- True Contributor - in all mixtures*
- 2 person mixture: C1 + C2
- 3 person mixture: C1 + C2 + C3
-

10,000 mixture sets created

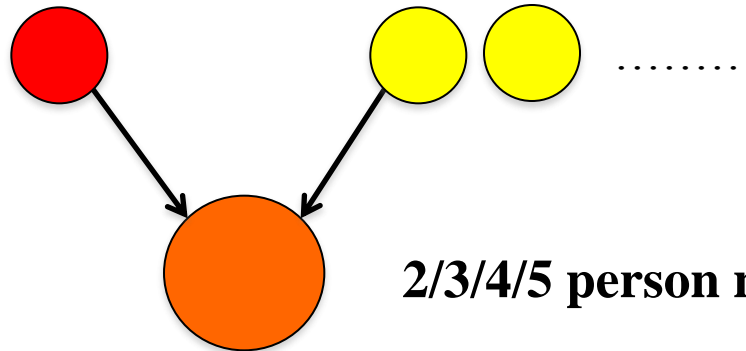
Calculating the LR



CGATACGATATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCAT
ACGATATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGT
TATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGT
GTATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGT
CATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGTAGGT
TGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCAT
TAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGT
GGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGT
TCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGTAGGT
ATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGTAGGT
TCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGTAGGT
CCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGT
AGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGT
GGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGTAGGT

True contributor

Assumed contributor

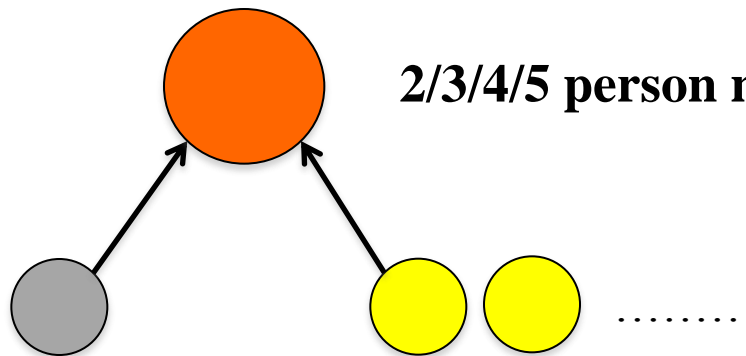


2/3/4/5 person mixture

$$LR = \frac{\Pr(E | S)}{\Pr(E | \bar{S})}$$

Unknown contributor

Assumed contributor



2/3/4/5 person mixture

Calculating the LR



CGATACGATATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCAT
 ACCGATATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGT
 TAGGTATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGT
 GGTAATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGT
 TCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGT
 ATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGT
 TCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGT
 CCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGT
 AGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGT
 GGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGT

True contributor

Assumed contributor

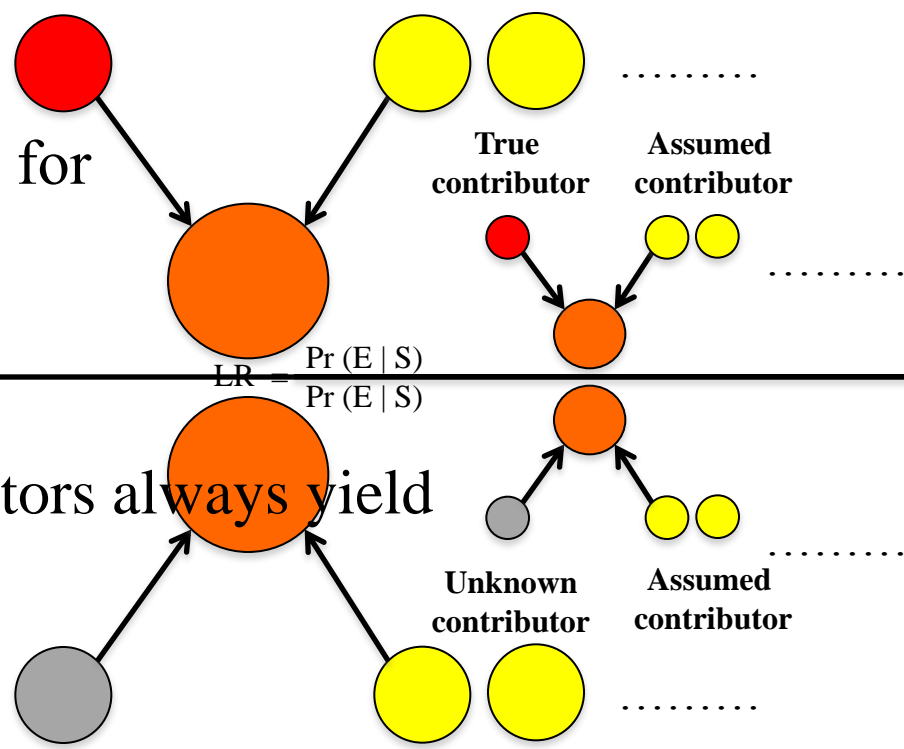
How big are LR's for true contributors?

$$LR = \frac{\Pr(E | S)}{\Pr(E | S)}$$

Will true contributors always yield LR's > 1?

Unknown contributor

Assumed contributor



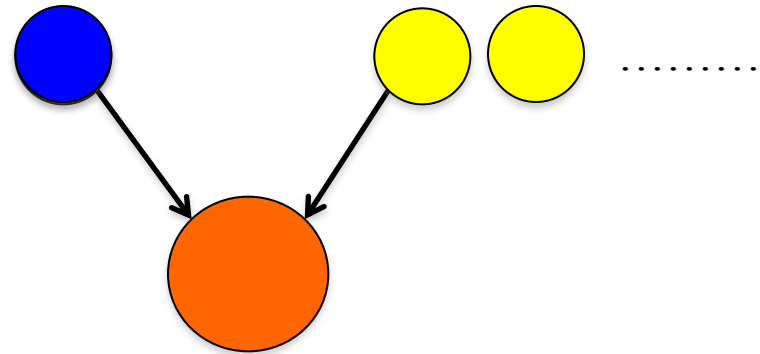
Calculating the LR



CGATACGATATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCAT
ACGATATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGT
TATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGT
GTACGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGT
CATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGT
TGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCAT
TAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCAT
GGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCAT
TCCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGA
ATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGT
TCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGT
CCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGT
AGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGTATCGGA
GGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGTATCGGA

Known Non-contributor

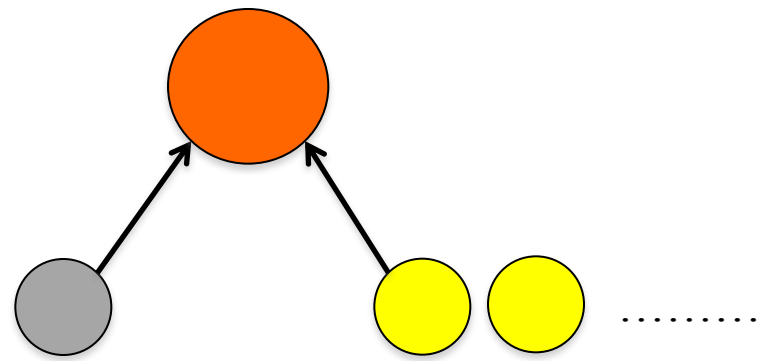
Assumed contributor



$$LR = \frac{\Pr(E | S)}{\Pr(E | S)}$$

Unknown contributor

Assumed contributor



Calculating the LR



CGATACGATATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCAT
 ACCGATATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGT
 TATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGT
 GTACGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGT
 CATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGT
 TGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGT
 TAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGT
 GGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGT
 TCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGT
 ATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGT
 TCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGT
 CCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGT
 AGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGT
 GGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGT

Known Non-contributor

Assumed contributor

How small are LR's for known non-contributors?

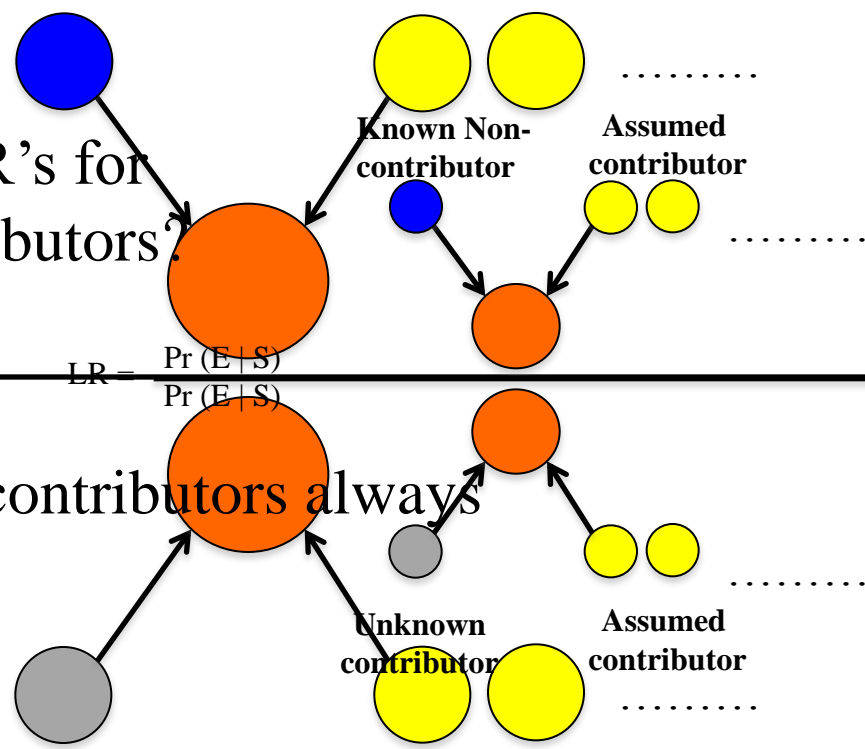
$$LR = \frac{\Pr(E | S)}{\Pr(E | S)}$$

$$LR = \frac{\Pr(E | S)}{\Pr(E | S)}$$

Will known non-contributors always yield LR's < 1?

Unknown contributor

Assumed contributor



Number of LR's



CGATACGATATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCAT
ACGATATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGT
TATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGT
GTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGTAGG
TGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGT
TAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGT
GGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGT
TCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGTAGG
ATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGTAGG
TCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGTAGG
CCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGTAGG
AGGTATCGGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGTAGG
GGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGTAGG

# contributors to mixture	Numerator Hypothesis	Denominator Hypothesis
2 mixture	C1 + C2	C2 + 1 unk
2 mixture	C1 + 1 unk	2 unk
3 mixture	C1 + C2 + C3	C2 + C3 + 1 unk
3 mixture	C1 + C2 + 1 unk	C2 + 2 unk
3 mixture	C1 + 2 unk	3 unk
4 mixture	C1 + C2 + C3 + C4	C2 + C3 + C4 + 1 unk
4 mixture	C1 + C2 + C3 + 1 unk	C2 + C3 + 2 unk
4 mixture	C1 + C2 + 2 unk	C2 + 3 unk
4 mixture	C1 + 3 unk	4 unk
5 mixture	C1 + C2 + C3 + C4 + C5	C2 + C3 + C4 + C5 + 1 unk
5 mixture	C1 + C2 + C3 + C4 + 1 unk	C2 + C3 + C4 + 2 unk
5 mixture	C1 + C2 + C3 + 2 unk	C2 + C3 + 3 unk
5 mixture	C1 + C2 + 3 unk	C2 + 4 unk
5 mixture	C1 + 4 unk	5 unk

14 pairs (TC & KNC) of possible hypotheses
140,000 LR's total each condition

Simulations



Generating LR's:

Assumptions:

- No drop out
- No peak height information was used

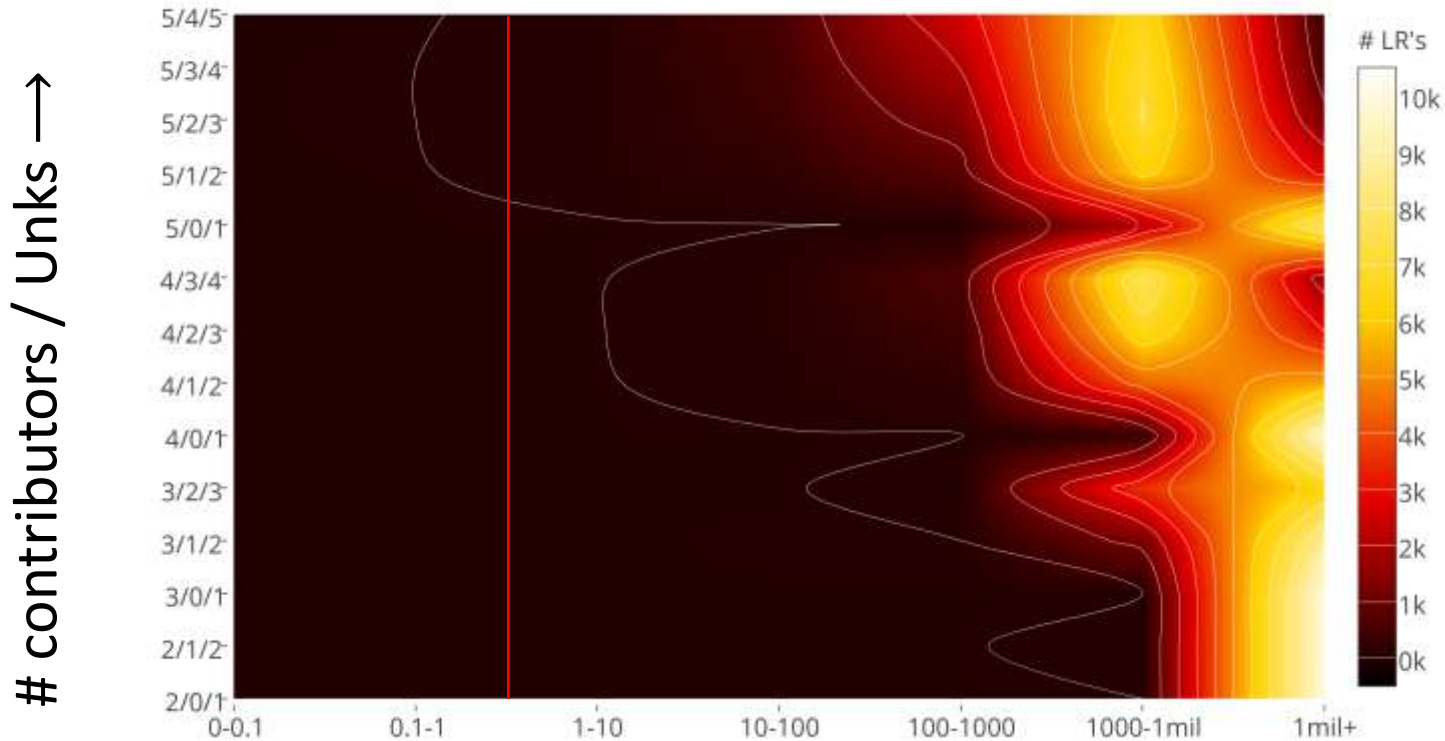
Do true contributors always yield $LR > 1$



CGATACGATATGGTCATGACCCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCCAGGTAGGTATCGATGGTCAT
ACGATATGGTCATGACCCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCCAGGTAGGTATCGATGGTCATGAC
TATGGTCATGACCCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCCAGG
GTATGGTCATGACCCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCCAGGTAGG
CATGACCCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCCAGGTAGG

TGGTAGGTATCGATGGTCATGACCCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCCAGGT
TAGGTATCGATGGTCATGACCCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCCAGGTAGG
GGTAGGTATCGATGGTCATGACCCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCCAGGTAGG
TGGTAGGTATCGATGGTCATGACCCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCCAGGTAGG
ATGGTAGGTATCGATGGTCATGACCCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCCAGGTAGG
TAGGTATCGATGGTCATGACCCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCCAGGTAGG
CCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCCAGGTAGG
AGGTATCGATGGTCATGACCCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCCAGGTAGG
GGTAGGTATCGATGGTCATGACCCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCCAGGTAGG

True Contributors



LR →

LR < 1: 7 of 140,000

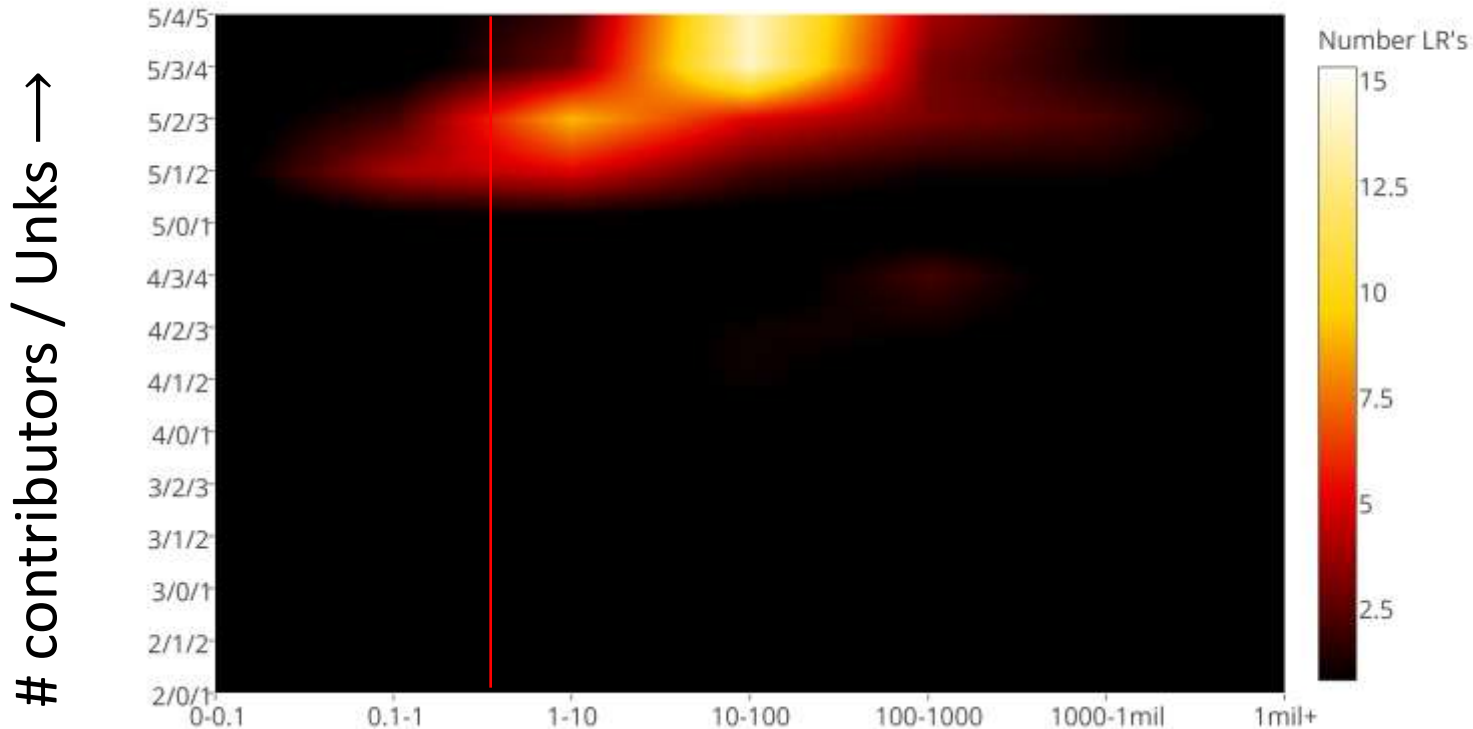
5 person mixtures with 1 + unk in numerator

Do known non-contributors always yield LR > 1



CGATACGATATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCAT
ACGATATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCAT
TATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGT
GTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGTAGG
CAATGACCAGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGTAGG
TGGTAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCAT
TAGGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCAT
GGTATCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCAT
TCGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGT
ATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGTAGG
CCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCAT
AGGTATCGGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGT
GGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGTAGGTATCGGATGGTCATGACCAGGT

Known non-contributors



LR →

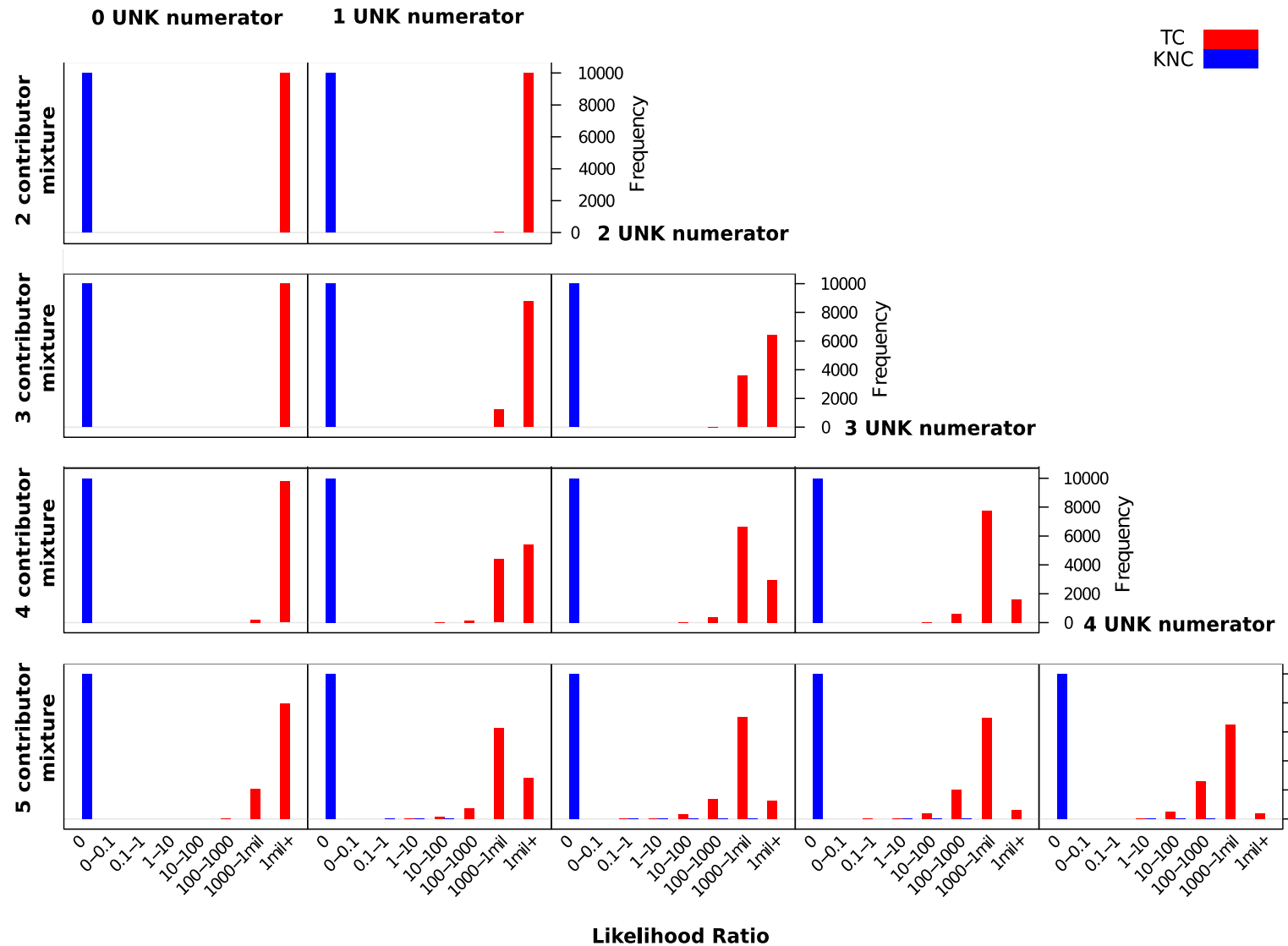
LR > 1: 75/140,000

4-5 person mixtures with 1 + unk in numerator

Can LR reliably distinguish true-contributors and known non-contributors ?



CGATACGATATGGTTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTTCATGACCAGGT
 ACCGATATGGTTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTTCATGACCAGGT
 TATGGTTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTTCATGACCAGGT
 TGGTTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTTCATGACCAGGT
 TGGTTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTTCATGACCAGGT
 TAGGTTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTTCATGACCAGGT
 TAGGTTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTTCATGACCAGGT
 GGTTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTTCATGACCAGGT
 ATGGTTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTTCATGACCAGGT
 TCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTTCATGACCAGGT
 CCAGGTAGGTATCGATGGTTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTTCATGACCAGGT
 AGGTATCGATGGTTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTTCATGACCAGGT
 GGTTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTTCATGACCAGGTAGGTATCGATGGTTCATGACCAGGT



Conclusions



- LR distinguish TC from KNC in mixtures containing up to 3 contributors.
- LR will distinguish most TC from KNC in mixtures of 4 or 5 individuals
 - Some low percentage of overlap
- LR generate a low false negative (TC < 1) and false positive (KNC > 1)
 - Primarily found in mixtures of 4 or 5 individuals