

# L'effet de hautes doses d'insuline sur le métabolisme protéique après une chirurgie à coeur ouvert

Takumi Codère-Maruyama, Roupen Hatzakorzian, Ansgar Hulshoff, Helen Bui, Dominique Shum Tim, Thomas Schricker

Department of Anaesthesia, Royal Victoria Hospital,  
McGill University Health Centre, Montreal, Canada



**Centre universitaire de santé McGill**  
**McGill University Health Centre**

# Contexte

- Le traumatisme chirurgical induit une réponse catabolique:
  - ↑Hyperglycémie
  - ↑Dégradation protéique
- L'insuline impacte le métabolisme des glucides et des protéines
- L'hyperinsulinémie entraîne une hypoaminoacidémie pendant la chirurgie de PAC<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Hatzakorzian et al. Metabolism 2011; 60: 1392

# Contexte

- Le traumatisme chirurgical induit une réponse catabolique:
  - **↑Hyperglycémie**
  - **↑Dégradation protéique**
- L'insuline impacte le métabolisme des glucides et des protéines
- L'hyperinsulinémie entraîne une hypoaminoacidémie pendant la chirurgie de PAC

# Contexte

- Le traumatisme chirurgical induit une réponse catabolique:
  - ↑Hyperglycémie
  - ↑Dégradation protéique
- **L'insuline impacte le métabolisme des glucides et des protéines**
- L'hyperinsulinémie entraîne une hypoaminoacidémie pendant la chirurgie de PAC

# Contexte

- Le traumatisme chirurgical induit une réponse catabolique:
  - ↑Hyperglycémie
  - ↑Dégradation protéique
- L'insuline impacte le métabolisme des glucides et des protéines
- **L'hyperinsulinémie entraîne une hypoaminoacidémie pendant la chirurgie de PAC**

# L'Objectif

- **L'hypothèse:**
  - L'hypoaminoacidémie dans le contexte d'hyperinsulinémie est dûe à une suppression de dégradation protéique
- **L'objectif:**
  - Étudier l'effet de hautes doses d'insuline sur le métabolisme protéique chez le patient recevant une chirurgie de PAC

# Méthode

- Étude prospective randomisée
- Chirurgie élektive de PAC
- Approbation du Comité d'éthique de notre institution: Centre universitaire de santé McGill
- Soins anesthésiques et chirurgicaux standardisés
- Patients à jeun

# Critères d'exclusion

- Malnutrition sévère (IMC  $<20$  kg/m<sup>2</sup>)
- Obésité sévère (IMC  $>35$  kg/m<sup>2</sup>)
- Maladie du foie chronique
- Fraction d'éjection ventricule gauche  $< 20\%$
- Cancer actif
- Dialyse
- $<18$  ans

# Protocole: Groupe témoin

- Glycémie artérielle Q30min
- Si glycémie > 10.0 mmol/L:
  - ➔ bolus 2U + début infusion 2U/hr d'insuline

> 10.0 mmol/L	⇒	↑infusion par 2U/hr
6.0 - 10.0	⇒	maintien de l'infusion
4.0 – 5.9	⇒	stop infusion
< 4.0	⇒	stop infusion + 25ml Dextrose 50%

# Protocole: Groupe témoin

- **Glycémie artérielle Q30min**
- Si glycémie > 10.0 mmol/L:
  - ➔ bolus 2U + début infusion 2U/hr d'insuline

> 10.0 mmol/L	⇒	↑infusion par 2U/hr
6.0 - 10.0	⇒	maintien de l'infusion
4.0 – 5.9	⇒	stop infusion
< 4.0	⇒	stop infusion + 25ml Dextrose 50%

# Protocole: Groupe témoin

- Glycémie artérielle Q30min
- **Si glycémie > 10.0 mmol/L:**
  - ➔ **bolus 2U + début infusion 2U/hr d'insuline**

> 10.0 mmol/L	⇒	↑infusion par 2U/hr
6.0 - 10.0	⇒	maintien de l'infusion
4.0 – 5.9	⇒	stop infusion
< 4.0	⇒	stop infusion + 25ml Dextrose 50%

# Protocole: Groupe témoin

- Glycémie artérielle Q30min
- Si glycémie > 10.0 mmol/L:
  - ➔ bolus 2U + début infusion 2U/hr d'insuline

> 10.0 mmol/L	⇒	↑infusion par 2U/hr
6.0 - 10.0	⇒	maintien de l'infusion
4.0 – 5.9	⇒	stop infusion
< 4.0	⇒	stop infusion + 25ml Dextrose 50%

# Protocole: Groupe insuline

- Le clamp euglycémique hyperinsulinémique à partir du début de la chirurgie
- Hyperinsulinémie 5mU/kg/min (ex: 21U/hr pour patient de 70kg)
- Glycémie artérielle Q15-20min
- Infusion variable de Dextrose 20% pour maintenir glycémie 4.0 – 6.0 mmol/L
- Le clamp est maintenu jusqu'à la fin de l'étude (environ 5hr après la fin de la chirurgie)

# Protocole: Groupe insuline

- **Le clamp euglycémique hyperinsulinémique à partir du début de la chirurgie**
- Hyperinsulinémie 5mU/kg/min (ex: 21U/hr pour patient de 70kg)
- Glycémie artérielle Q15-20min
- Infusion variable de Dextrose 20% pour maintenir glycémie 4.0 – 6.0 mmol/L
- Le clamp est maintenu jusqu'à la fin de l'étude (environ 5hr après la fin de la chirurgie)

# Protocole: Groupe insuline

- Le clamp euglycémique hyperinsulinémique à partir du début de la chirurgie
- **Hyperinsulinémie 5mU/kg/min (ex: 21U/hr pour patient de 70kg)**
- Glycémie artérielle Q15-20min
- Infusion variable de Dextrose 20% pour maintenir glycémie 4.0 – 6.0 mmol/L
- Le clamp est maintenu jusqu'à la fin de l'étude (environ 5hr après la fin de la chirurgie)

# Protocole: Groupe insuline

- Le clamp euglycémique hyperinsulinémique à partir du début de la chirurgie
- Hyperinsulinémie 5mU/kg/min (ex: 21U/hr pour patient de 70kg)
- **Glycémie artérielle Q15-20min**
- Infusion variable de Dextrose 20% pour maintenir glycémie 4.0 – 6.0 mmol/L
- Le clamp est maintenu jusqu'à la fin de l'étude (environ 5hr après la fin de la chirurgie)

# Protocole: Groupe insuline

- Le clamp euglycémique hyperinsulinémique à partir du début de la chirurgie
- Hyperinsulinémie 5mU/kg/min (ex: 21U/hr pour patient de 70kg)
- Glycémie artérielle Q15-20min
- **Infusion variable de Dextrose 20% pour maintenir glycémie 4.0 – 6.0 mmol/L**
- Le clamp est maintenu jusqu'à la fin de l'étude (environ 5hr après la fin de la chirurgie)

# Protocole: Groupe insuline

- Le clamp euglycémique hyperinsulinémique à partir du début de la chirurgie
- Hyperinsulinémie 5mU/kg/min (ex: 21U/hr pour patient de 70kg)
- Glycémie artérielle Q15-20min
- Infusion variable de dextrose 20% pour maintenir glycémie 4.0 – 6.0 mmol/L
- **Le clamp est maintenu jusqu'à la fin de l'étude (environ 5hr après la fin de la chirurgie)**

# Cinétiques de traceur isotopique stable

- Le traceur L-[1-<sup>13</sup>C]leucine pour mesurer le métabolisme protéique:
  - Vitesse d'apparition (Ra) de leucine
  - Dégradation protéique
  - Synthèse protéique
  - Oxidation protéique
  - Balance protéique
- Profil métabolique de base mesuré un jour avant la chirurgie
- Profil métabolique post-opératoire mesuré 2hr après la chirurgie
- L-[1-<sup>13</sup>C]leucine est infusée pendant 3hr

# Cinétiques de traceur isotopique stable

- Le traceur L-[1-<sup>13</sup>C]leucine pour mesurer le métabolisme protéique:
  - **Vitesse d'apparition (Ra) de leucine**
  - Dégradation protéique
  - Synthèse protéique
  - Oxidation protéique
  - Balance protéique
- Profil métabolique de base mesuré un jour avant la chirurgie
- Profil métabolique post-opératoire mesuré 2hr après la chirurgie
- L-[1-<sup>13</sup>C]leucine est infusée pendant 3hr

# Cinétiques de traceur isotopique stable

- Le traceur L-[1-<sup>13</sup>C]leucine pour mesurer le métabolisme protéique:
  - Vitesse d'apparition (Ra) de leucine
  - **Dégradation protéique**
  - Synthèse protéique
  - Oxidation protéique
  - Balance protéique
- Profil métabolique de base mesuré un jour avant la chirurgie
- Profil métabolique post-opératoire mesuré 2hr après la chirurgie
- L-[1-<sup>13</sup>C]leucine est infusée pendant 3hr

# Cinétiques de traceur isotopique stable

- Le traceur L-[1-<sup>13</sup>C]leucine pour mesurer le métabolisme protéique:
  - Vitesse d'apparition (Ra) de leucine
  - Dégradation protéique
  - **Synthèse protéique**
  - Oxidation protéique
  - Balance protéique
- Profil métabolique de base mesuré un jour avant la chirurgie
- Profil métabolique post-opératoire mesuré 2hr après la chirurgie
- L-[1-<sup>13</sup>C]leucine est infusée pendant 3hr

# Cinétiques de traceur isotopique stable

- Le traceur L-[1-<sup>13</sup>C]leucine pour mesurer le métabolisme protéique:
  - Vitesse d'apparition (Ra) de leucine
  - Dégradation protéique
  - Synthèse protéique
  - **Oxidation protéique**
  - Balance protéique
- Profil métabolique de base mesuré un jour avant la chirurgie
- Profil métabolique post-opératoire mesuré 2hr après la chirurgie
- L-[1-<sup>13</sup>C]leucine est infusée pendant 3hr

# Cinétiques de traceur isotopique stable

- Le traceur L-[1-<sup>13</sup>C]leucine pour mesurer le métabolisme protéique:
  - Vitesse d'apparition (Ra) de leucine
  - Dégradation protéique
  - Synthèse protéique
  - Oxidation protéique
  - **Balance protéique**
- Profil métabolique de base mesuré un jour avant la chirurgie
- Profil métabolique post-opératoire mesuré 2hr après la chirurgie
- L-[1-<sup>13</sup>C]leucine est infusée pendant 3hr

# Cinétiques de traceur isotopique stable

- Le traceur L-[1-<sup>13</sup>C]leucine pour mesurer le métabolisme protéique:
  - Vitesse d'apparition (Ra) de leucine
  - Dégradation protéique
  - Synthèse protéique
  - Oxidation protéique
  - Balance protéique
- **Profil métabolique de base mesuré un jour avant la chirurgie**
- Profil métabolique post-opératoire mesuré 2hr après la chirurgie
- L-[1-<sup>13</sup>C]leucine est infusée pendant 3hr

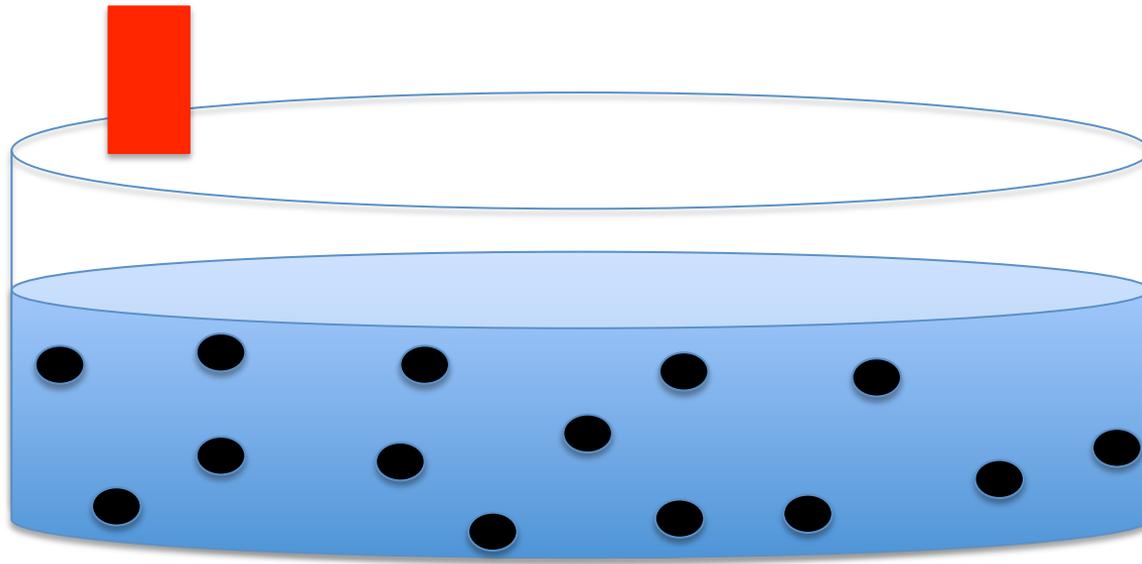
# Cinétiques de traceur isotopique stable

- Le traceur L-[1-<sup>13</sup>C]leucine pour mesurer le métabolisme protéique:
  - Vitesse d'apparition (Ra) de leucine
  - Dégradation protéique
  - Synthèse protéique
  - Oxidation protéique
  - Balance protéique
- Profil métabolique de base mesuré un jour avant la chirurgie
- **Profil métabolique post-opératoire mesuré 2hr après la chirurgie**
- L-[1-<sup>13</sup>C]leucine est infusée pendant 3hr

# Cinétiques de traceur isotopique stable

- Le traceur L-[1-<sup>13</sup>C]leucine pour mesurer le métabolisme protéique:
  - Vitesse d'apparition (Ra) de leucine
  - Dégradation protéique
  - Synthèse protéique
  - Oxidation protéique
  - Balance protéique
- Profil métabolique de base mesuré un jour avant la chirurgie
- Profil métabolique post-opératoire mesuré 2hr après la chirurgie
- **L-[1-<sup>13</sup>C]leucine est infusée pendant 3hr**

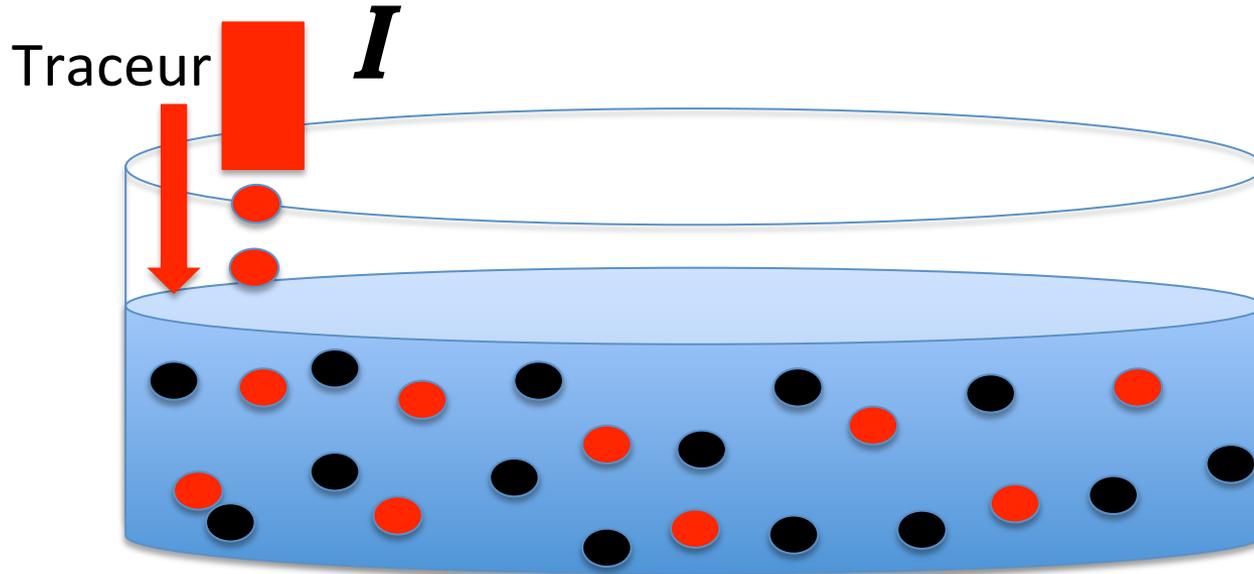
# Technique de dilution de traceur



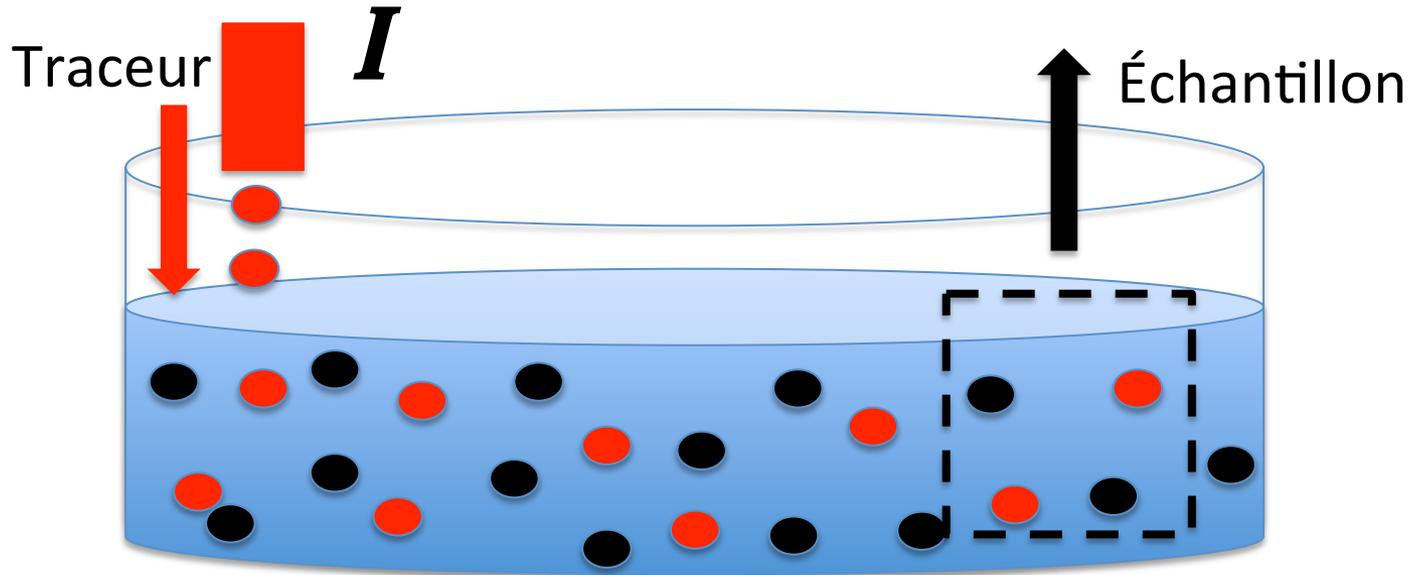
$$Ra = ?$$

Ra = Vitesse d'apparition

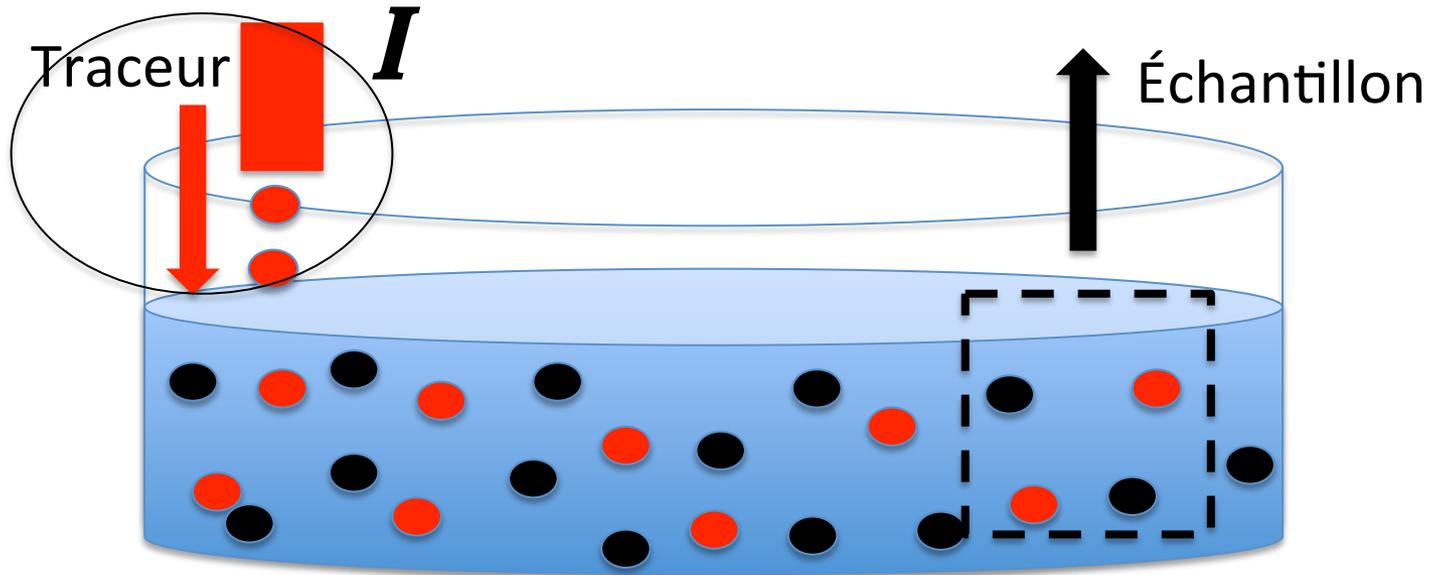
# Technique de dilution de traceur



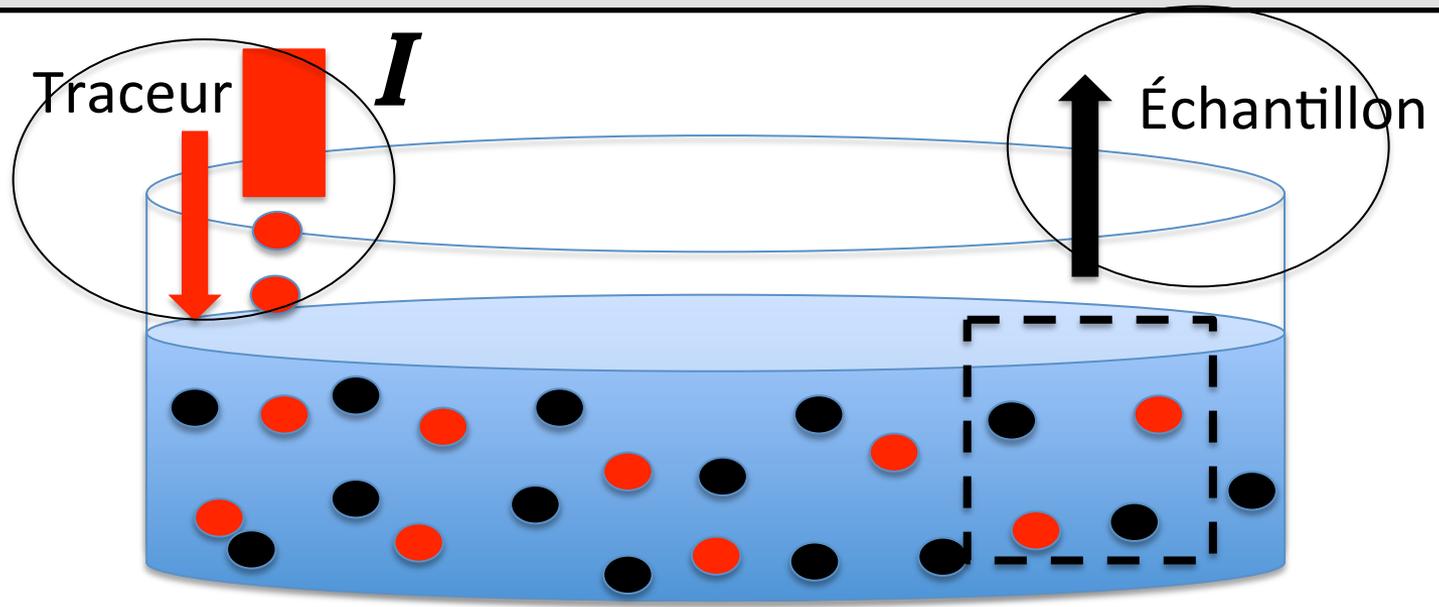
# Technique de dilution de traceur



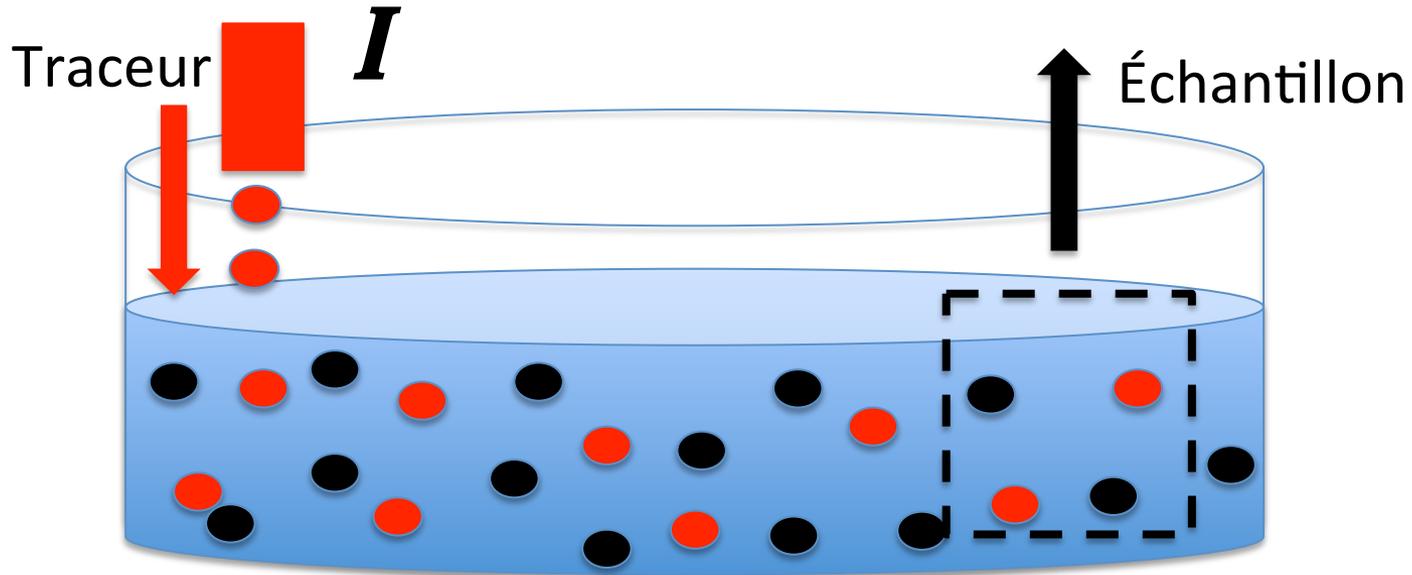
# Technique de dilution de traceur



# Technique de dilution de traceur



# Technique de dilution de traceur



Formule Steele:  $Ra = I \cdot (MPE_{inf} / MPE_{pl} - 1)$

Ra = Vitesse d'apparition

$I$  = débit de la perfusion

$MPE_{inf}$  = enrichissement du traceur de la perfusion

$MPE_{pl}$  = enrichissement du traceur dans le plasma

# Modèle de métabolisme protéique

Acides Aminés



$\text{NH}_3, {}^{13}\text{CO}_2$

# Modèle de métabolisme protéique

Acides Aminés

Apport

$$R_a = A + D$$



Dégradation

$NH_3, ^{13}CO_2$

# Modèle de métabolisme protéique

$$R_a = A + D = S + O$$

Acides Aminés

Apport



Synthèse



Dégradation

Oxidation

$\text{NH}_3, {}^{13}\text{CO}_2$

# Modèle de métabolisme protéique

$$Ra = A + D = S + O$$

Acides Aminés

**Apport**



*Synthèse*



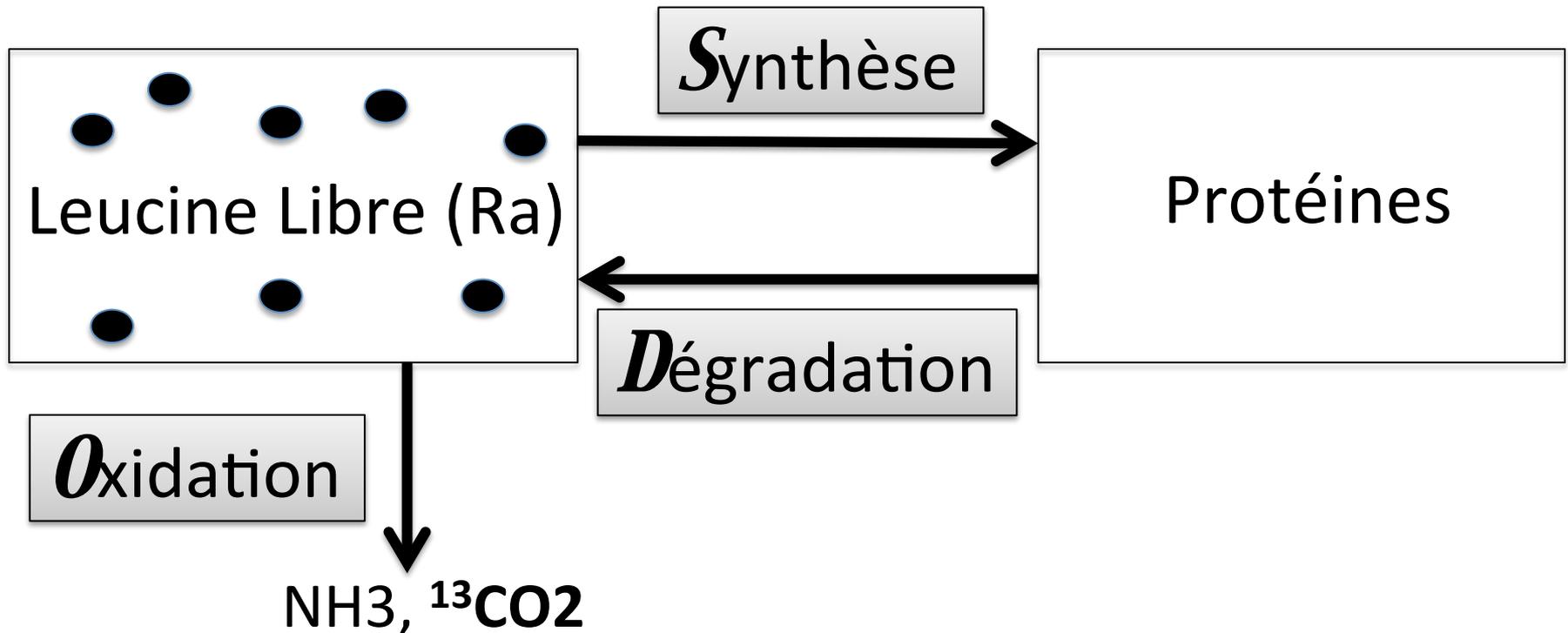
*Dégradation*

*Oxydation*

NH<sub>3</sub>, <sup>13</sup>C<sup>18</sup>O<sub>2</sub>

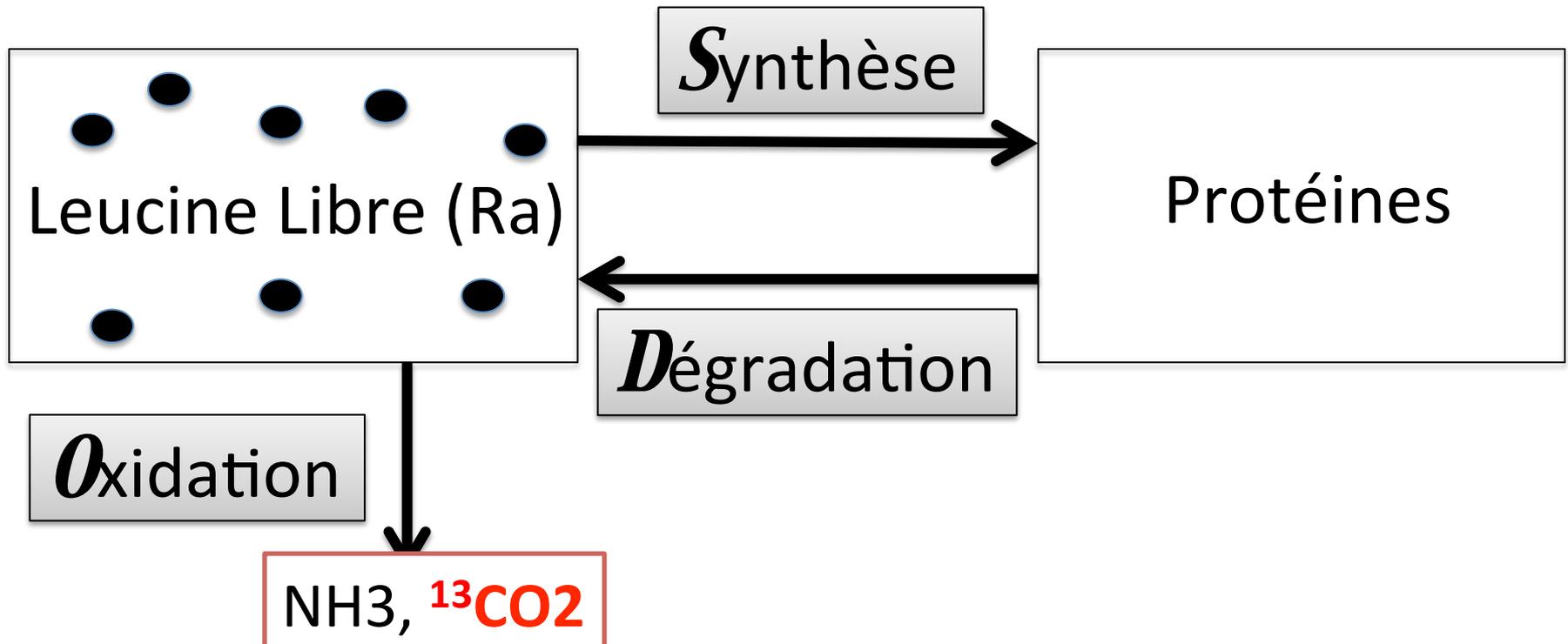
# Modèle de métabolisme protéique

$$Ra = D = S + O$$



# Modèle de métabolisme protéique

$$Ra = D = S + O$$



# Analyses statistiques

- **Échantillonnage: pour détecter une différence de Ra de 20% entre les 2 groupes avec une erreur de type 1 de 5% et une puissance de 80%, 8 sujets sont requis par groupe**
- Comparaison des caractéristiques des sujets: *Student t-test* et *Fisher exact test*
- Comparaison de la concentration plasmatique d'insuline et des taux de métabolisme de la leucine: *ANOVA with repeated measures*
- $P < 0.05$

# Analyses statistiques

- Échantillonnage: pour détecter une différence de  $R_a$  de 20% entre les 2 groupes avec une erreur de type 1 de 5% et une puissance de 80%, 8 sujets sont requis par groupe
- **Comparaison des caractéristiques des sujets:**  
*Student t-test* et *Fisher exact test*
- Comparaison de la concentration plasmatique d'insuline et des taux de métabolisme de la leucine: *ANOVA with repeated measures*
- $P < 0.05$

# Analyses statistiques

- Échantillonnage: pour détecter une différence de  $R_a$  de 20% entre les 2 groupes avec une erreur de type 1 de 5% et une puissance de 80%, 8 sujets sont requis par groupe
- Comparaison des caractéristiques des sujets: *Student t-test* et *Fisher exact test*
- **Comparaison de la concentration plasmatique d'insuline et des taux de métabolisme de la leucine: *ANOVA with repeated measures***
- $P < 0.05$

# Analyses statistiques

- Échantillonnage: pour détecter une différence de  $R_a$  de 20% entre les 2 groupes avec une erreur de type 1 de 5% et une puissance de 80%, 8 sujets sont requis par groupe
- Comparaison des caractéristiques des sujets: *Student t-test* et *Fisher exact test*
- Comparaison de la concentration plasmatique d'insuline et des taux de métabolisme de la leucine: *ANOVA with repeated measures*
- **P<0.05**

# Résultats

	Control group	Insulin group	P value
n	8	8	
Age (y)	58 ± 10	65 ± 7	n.s. (0.187)
Gender (M/F)	5/3	7/1	n.s. (0.282)
Weight (kg)	80.6 ± 14.3	80.0 ± 16.2	n.s. (0.942)
Height (m)	1.7 ± 0.1	1.7 ± 0.1	n.s. (0.181)
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	28.9 ± 4.1	26.1 ± 4.3	n.s. (0.199)
DM	1	2	n.s. (0.569)
Diabetic therapy			
Oral agents	1	2	
Insulin	0	0	
HbA1c (%)	6.2 ± 0.7	6.1 ± 0.2	n.s. (0.752)
LVEF (%)	44 ± 15	50 ± 13	n.s. (0.451)
b-blockers	6	6	n.s. (1)
Calcium channel blockers	2	1	n.s. (0.569)
Renin-angiotensin inhibitors	5	3	n.s. (0.315)

# Résultats

	Control group	Insulin group	P value
Anesthesia time (min)	336 ± 46	372 ± 53	n.s. (0.187)
Surgical time (min)	257 ± 40	282 ± 38	n.s. (0.239)
CPB time (min)	121 ± 29	140 ± 22	n.s.( 0.168)
Aortic x-clamp time (min)	103 ± 31	119 ± 21	n.s. (0.256)
Grafts (n)	4.7 ± 1.7	5.3 ± 0.9	n.s. (0.947)
EBL (cc)	485 ± 160	580 ± 140	n.s. (0.246)
PRBC transfusions (units)	2.9 ± 1.1	2.3 ± 1.6	n.s. (0.425)
Inotropic and vasopressor therapy			
Dobutamine 2.5 µg·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup>	3	0	n.s. (0.769)
Norepinephrine 1-10 µg/min	7	6	n.s. (0.466)

# Résultats

	Control group (n=8)	Insulin group (n=8)	P value
Administration of insulin (n)	0	8	-
Insulin dose (U)	0	222 ± 53	-
Dextrose 20% infusion (cc/hr)	0	84 ± 19	-
Glucose(mg·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	0	3.6 ± 0.7	-
Mean plasma glucose (mmol/L)	7.5 ± 0.7	5.0 ± 0.7	<0.001
Number of measures	78	246	-

	Control group	Insulin group	P-value Time*	P-value Group†	P-value Interaction‡
<b>Insulin (pmol/L)</b>					
Before surgery	56 ± 25	48 ± 17	<0.001	<0.001	<0.001
After surgery	56 ± 39	3614 ± 560			
<b>Ra leucine (<math>\mu\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}</math>)</b>					
Before sx	93.5 ± 17.2	105.3 ± 8.8	0.004	n.s. (0.967)	0.003
After sx	95.8 ± 14.8	85.5 ± 9.9			
<b>Leucine oxidation (<math>\mu\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}</math>)</b>					
Before sx	14.3 ± 3.4	14.2 ± 2.7	n.s. (0.455)	n.s. (0.614)	n.s. (0.344)
After sx	14.5 ± 2.8	16.6 ± 5.3			
<b>Protein synthesis (<math>\mu\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}</math>)</b>					
Before sx	79.2 ± 14.3	91.1 ± 7.8	<0.001	n.s. (0.854)	<0.001
After sx	81.4 ± 12.5	69.9 ± 8.5			
<b>Leucine balance (<math>\mu\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}</math>)</b>					
Before sx	- 14.3 ± 3.4	- 14.2 ± 2.7	n.s. (0.455)	n.s. (0.614)	n.s. (0.344)
After sx	- 14.5 ± 2.8	- 16.6 ± 5.3			

	Control group	Insulin group	P-value Time*	P-value Group†	P-value Interaction‡
<b>Insulin (pmol/L)</b>					
Before surgery	56 ± 25	48 ± 17	<0.001	<0.001	<0.001
After surgery	56 ± 39	3614 ± 560			
<b>Ra leucine (<math>\mu\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}</math>)</b>					
Before sx	93.5 ± 17.2	105.3 ± 8.8	0.004	n.s. (0.967)	0.003
After sx	95.8 ± 14.8	85.5 ± 9.9			
<b>Leucine oxidation (<math>\mu\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}</math>)</b>					
Before sx	14.3 ± 3.4	14.2 ± 2.7	n.s. (0.455)	n.s. (0.614)	n.s. (0.344)
After sx	14.5 ± 2.8	16.6 ± 5.3			
<b>Protein synthesis (<math>\mu\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}</math>)</b>					
Before sx	79.2 ± 14.3	91.1 ± 7.8	<0.001	n.s. (0.854)	<0.001
After sx	81.4 ± 12.5	69.9 ± 8.5			
<b>Leucine balance (<math>\mu\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}</math>)</b>					
Before sx	- 14.3 ± 3.4	- 14.2 ± 2.7	n.s. (0.455)	n.s. (0.614)	n.s. (0.344)
After sx	- 14.5 ± 2.8	- 16.6 ± 5.3			

	Control group	Insulin group	P-value Time*	P-value Group†	P-value Interaction‡
<b>Insulin (pmol/L)</b>					
Before surgery	56 ± 25	48 ± 17	<0.001	<0.001	<0.001
After surgery	56 ± 39	3614 ± 560			
<b>Ra leucine (<math>\mu\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}</math>)</b>					
Before sx	93.5 ± 17.2	105.3 ± 8.8	0.004	n.s. (0.967)	0.003
After sx	95.8 ± 14.8	85.5 ± 9.9			
<b>Leucine oxidation (<math>\mu\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}</math>)</b>					
Before sx	14.3 ± 3.4	14.2 ± 2.7	n.s. (0.455)	n.s. (0.614)	n.s. (0.344)
After sx	14.5 ± 2.8	16.6 ± 5.3			
<b>Protein synthesis (<math>\mu\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}</math>)</b>					
Before sx	79.2 ± 14.3	91.1 ± 7.8	<0.001	n.s. (0.854)	<0.001
After sx	81.4 ± 12.5	69.9 ± 8.5			
<b>Leucine balance (<math>\mu\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}</math>)</b>					
Before sx	- 14.3 ± 3.4	- 14.2 ± 2.7	n.s. (0.455)	n.s. (0.614)	n.s. (0.344)
After sx	- 14.5 ± 2.8	- 16.6 ± 5.3			

	Control group	Insulin group	P-value Time*	P-value Group†	P-value Interaction‡
<b>Insulin (pmol/L)</b>					
Before surgery	56 ± 25	48 ± 17	<0.001	<0.001	<0.001
After surgery	56 ± 39	3614 ± 560			
<b>Ra leucine (<math>\mu\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}</math>)</b>					
Before sx	93.5 ± 17.2	105.3 ± 8.8	0.004	n.s. (0.967)	0.003
After sx	95.8 ± 14.8	85.5 ± 9.9			
<b>Leucine oxidation (<math>\mu\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}</math>)</b>					
Before sx	14.3 ± 3.4	14.2 ± 2.7	n.s. (0.455)	n.s. (0.614)	n.s. (0.344)
After sx	14.5 ± 2.8	16.6 ± 5.3			
<b>Protein synthesis (<math>\mu\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}</math>)</b>					
Before sx	79.2 ± 14.3	91.1 ± 7.8	<0.001	n.s. (0.854)	<0.001
After sx	81.4 ± 12.5	69.9 ± 8.5			
<b>Leucine balance (<math>\mu\text{mol}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}</math>)</b>					
Before sx	- 14.3 ± 3.4	- 14.2 ± 2.7	n.s. (0.455)	n.s. (0.614)	n.s. (0.344)
After sx	- 14.5 ± 2.8	- 16.6 ± 5.3			

# Conclusion

- **Chez le patient ayant une chirurgie de PAC, le clamp euglycémique-hyperinsulinémique a un effet important sur le métabolisme protéique**
- La dégradation et la synthèse protéique diminuent de 20% dans le contexte d'hyperinsulinémie
- Des recherches futures devraient examiner l'effet additionnel d'une administration d'acides aminés exogènes.

# Conclusion

- Chez le patient ayant une chirurgie de PAC, le clamp euglycémique-hyperinsulinémique a un effet important sur le métabolisme protéique
- **La dégradation et la synthèse protéique diminuent de 20% dans le contexte d'hyperinsulinémie**
- Des recherches futures devraient examiner l'effet additionnel d'une administration d'acides aminés exogènes.

# Conclusion

- Chez le patient ayant une chirurgie de PAC, le clamp euglycémique-hyperinsulinémique a un effet important sur le métabolisme protéique
- La dégradation et la synthèse protéique diminuent de 20% dans le contexte d'hyperinsulinémie
- **Des recherches futures devraient examiner l'effet additionnel d'une administration d'acides aminés exogènes.**

# Remerciements

- Dr Thomas Schricker
- Dr Roupen Hatzakorzian
- Dr Linda Wykes
- Evan Nitschmann
- Dr Ansgar Hulshoff
- Helen Bui
- Dr Dominique Shum-Tim