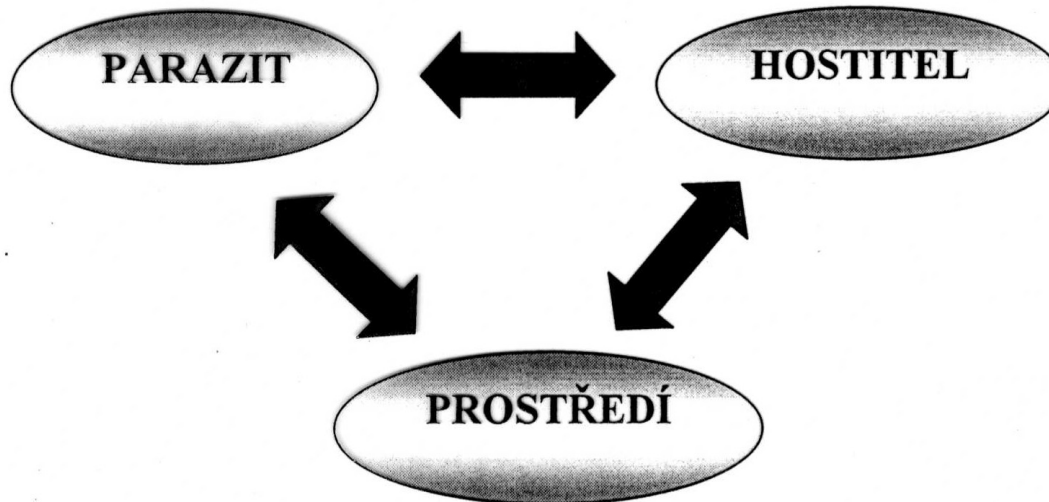


# Populace parazitů

# Životní cykly a populace parazitů

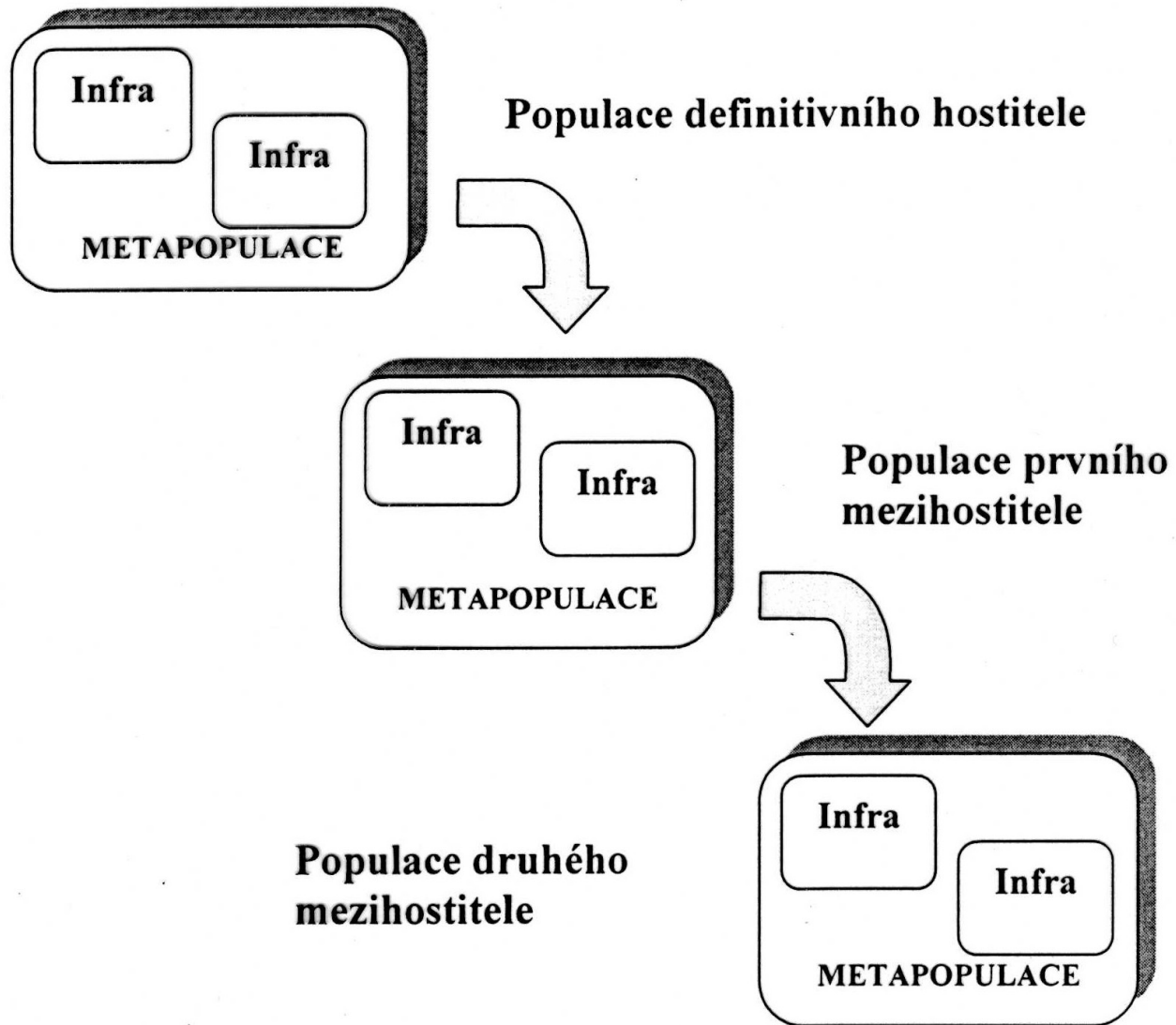
Parazit  $\Leftrightarrow$  Hostitel  $\Leftrightarrow$  Prostředí



**Populace parazita** se bude vyskytovat v různých typech prostředí

1. a 2. řádu  $\Rightarrow$  v závislosti na **typu životního cyklu** cizopasníka bude mít různou **prostorovou strukturu**

# SUPRAPOPULACE



# Populace parazitů

**Epidemiologie** = studium týkající se ekologických aspektů nemocí s cílem vysvětlit jejich šíření, rozmístění, prevalenci a incidenci.

Incidence (v epidemiologii) = počet nových případů onemocnění za jednotku času (míra růstu onemocnění).

## Dnes:

Epidemiologie = kvantitativní věda založená na aplikaci řady statistických metod a matematického modelování umožňujících velmi efektivní vyhodnocení terénních nebo experimentálních dat.

- Dynamika parazitárních (infekčních) onemocnění = jedno z nejstarších odvětví biomatematiky.
- Řada paralel s Lotkovými a Volterovými modely dynamiky vztahů predátor-kořist.

# Populace parazitů

## Z historie:

V.A. Dogel (1964) = první moderní ekologie cizopasníků, komplexní chápání systému P-H-H

J.C. Holmes (1961, 1962) = klasické práce o interspecifické kompetici  
*Hymenolepis diminuta* a *Moniliformis dubius* ve střevě krysy.

G. MacDonald (1965) = poprvé použit matematický model při studium P-H vztahů

H.D. Crofton (1971) = vypracoval standardní metodu kvantitativního studia parazitismu

R.M. Anderson & R.M. May (1974 – 1985) = vypracovali moderní teorii matematicko-epidemiologických modelů parazitismu

# Populační ekologie parazitů

**Epidemiologie** = studium dynamických vztahů mezi populací parazita a populací hostitele.

**Populace** = soubor organismů (parazitů i hostitelů) téhož druhu vyskytujících se v určitém prostoru a čase spojených reprodukčními vztahy.

Platí to pro parazita i pro hostitele !!!

**Co zde je jednotka studia ?**

**Parazit nebo hostitel ?**

# Charakteristiky populace parazitů

**Prevalence** = procento hostitelů napadených daným druhem cizopasníka; tj. počet parazitovaných hostitelů dělený celkovým počtem vyšetřených hostitelů krát 100.

Stanovuje se dvojím způsobem:

- 1) přímým vyšetřením cizopasníků (pitvou, krevní roztěr, serologie)
- 2) sledováním emise infekčních stádií (koprologicky)

**Intenzita invaze** = počet jedinců daného druhu parazita na/v hostiteli

**Střední intenzita** = průměrný počet parazitů na jednoho napadeného hostitele; tj. celkový počet parazitů dělený počtem napadených hostitelů.

# Charakteristiky populace parazitů

**Abundance** = průměrný počet jedinců daného druhu parazita z celkového počtu všech vyšetřených hostitelů (tedy napadených i nenapadených); celkový počet parazitů dělený cyklovým počtem všech vyšetřovaných hostitelů

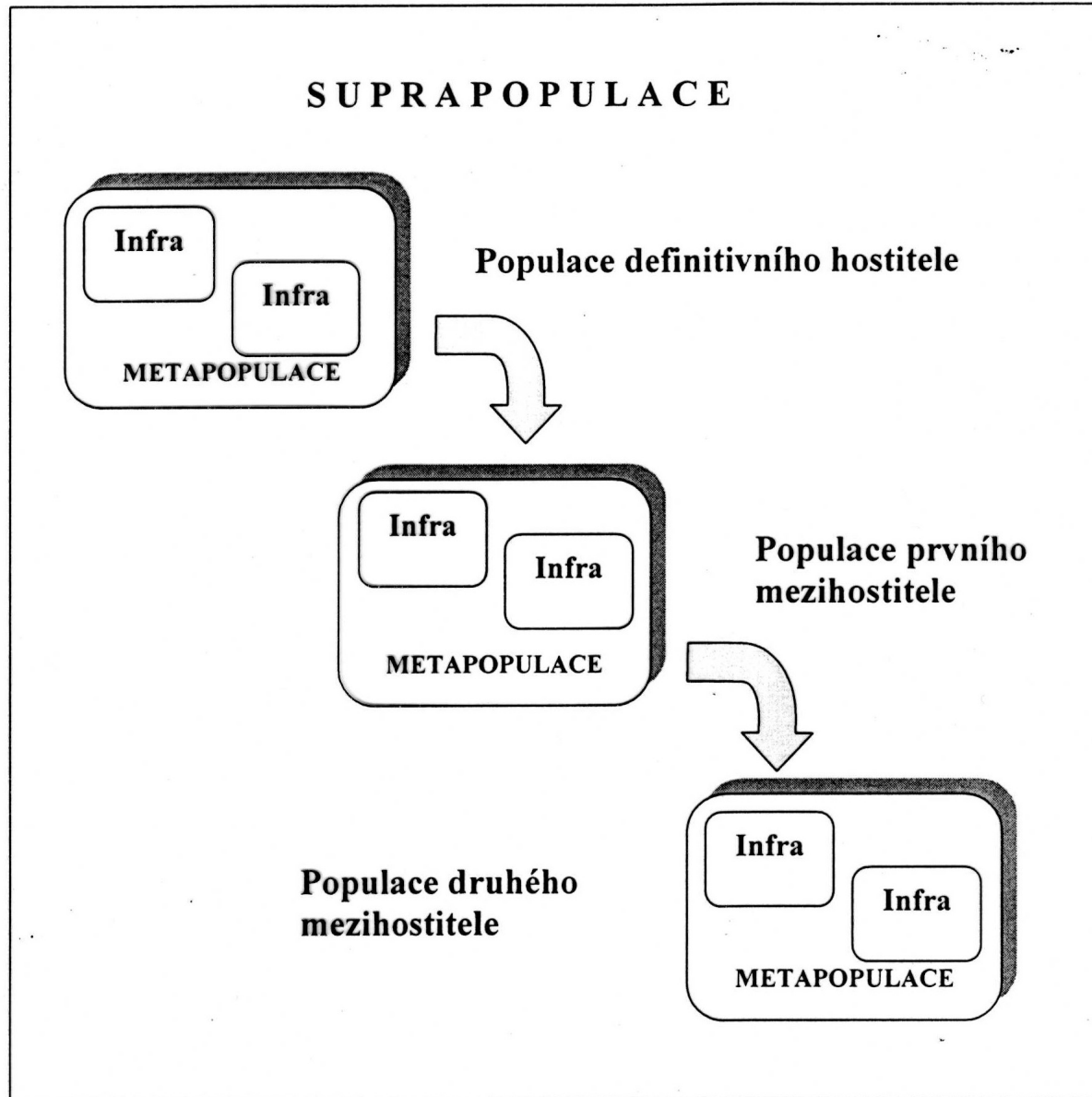
**Incidence** = počet nových případů nakažených jedinců hostitele v daném časovém období z počtu nenakažených jedinců hostitele na počátku studovaného období. Často zaměňován z prevalencí.

**Denzita** = počet jedinců daného druhu cizopasníka na jednotku plochy, objemu nebo váhy hostitelského organismu.

**Distribuce** = rozmístění cizopasníků; má čtyři různé úrovně. (zoogeografické rozšíření, hostitelká specifičnost, frekvenční distribuce a lokalizace na/v hostiteli).



# Schéma populace parazita



# Základní termologie

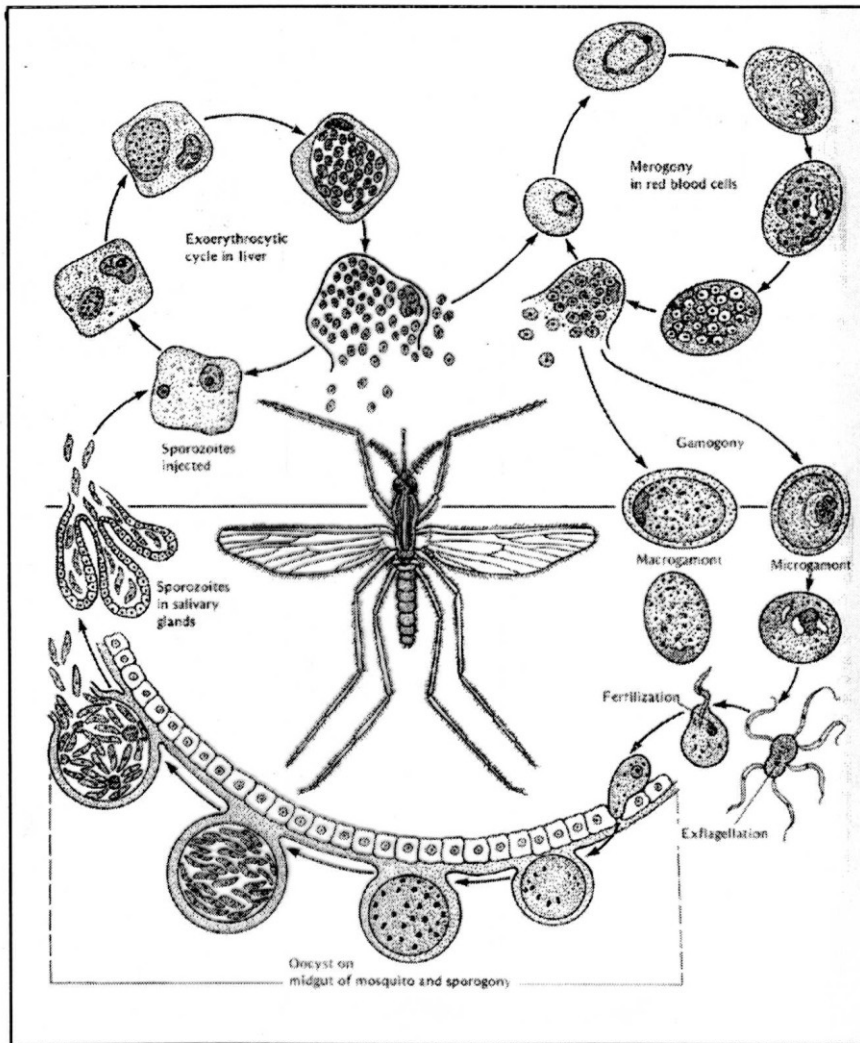
**Infrapopulace** = soubor všech cizopasníků určitého druhu nacházejících se na/v jednom individuu daného hostitelského druhu

**Metapopulace** = soubor všech infrapopulací určitého druhu parazita na/ve všech individuích určitého druhu hostitele daného ekosystému

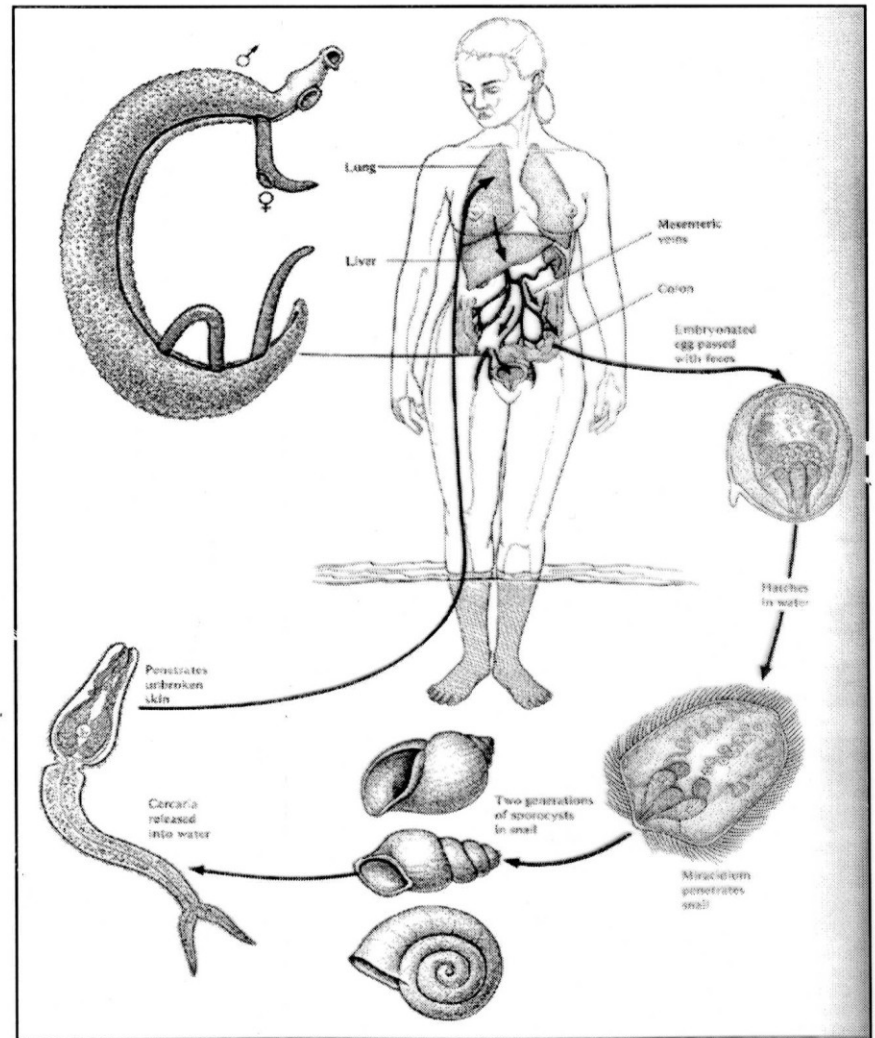
**Suprapopulace** = soubor všech cizopasníků určitého druhu ve všech stádiích vývoje nacházejících se na/ve všech hostitelím a mezihostitelích daného ekosystému

# Epidemiologie cizopasníků

## Malárie



## Schistosómosa



# Epidemiologie cizopasníků

**MIKROPARAZITI** = množí se na/v hostiteli (viry, bakterie, houby a prvoci)

**MAKROPARAZITI** = vyvíjejí a rostou na/v hostiteli, ale nemnoží se  
(helminti a členovci)

**Velikost zde není rozhodující !**

mšice = mikroparaziti rostlin (množí se na jejich povrchu)

houby = makroparaziti (nemnoží se dokud hostitel není mrtev)

# Epidemiologie cizopasníků

**Epidemiologie** = studium týkající se ekologických aspektů nemocí s cílem vysvětlit jejich šíření, rozmístění, prevalenci a míru růstu onemocnění

**Epidemiologie** = kvantitativní věda → matematické modelování

## Mikroparaziti

Přímo se množí  
na/v hostiteli

## Makroparaziti

Vyvíjejí se a rostou  
na/v hostiteli,  
ale nemnoží se

Velikost zde není rozhodující !

# Epidemiologické modely

## Mikroparazit šířený vektorem - Malárie

$$R_p = \beta^2 \frac{N_v}{N_h} f_v f_h L_v L_h$$

- $N_v$  a  $N_h$  = hustota přenašeče (V) a hostitele (H)
- $f_v$  a  $f_h$  = podíly infikovaných (V) a (H), kteří přežívají
- $L_v$  a  $L_h$  = časová období, po která jsou (V) a (H) nakažliví
- $\beta^2$  = míra přenosu; přenos infekce do (H) i z (H)

## Makroparazit s nepřímým přenosem - Schistosomosa

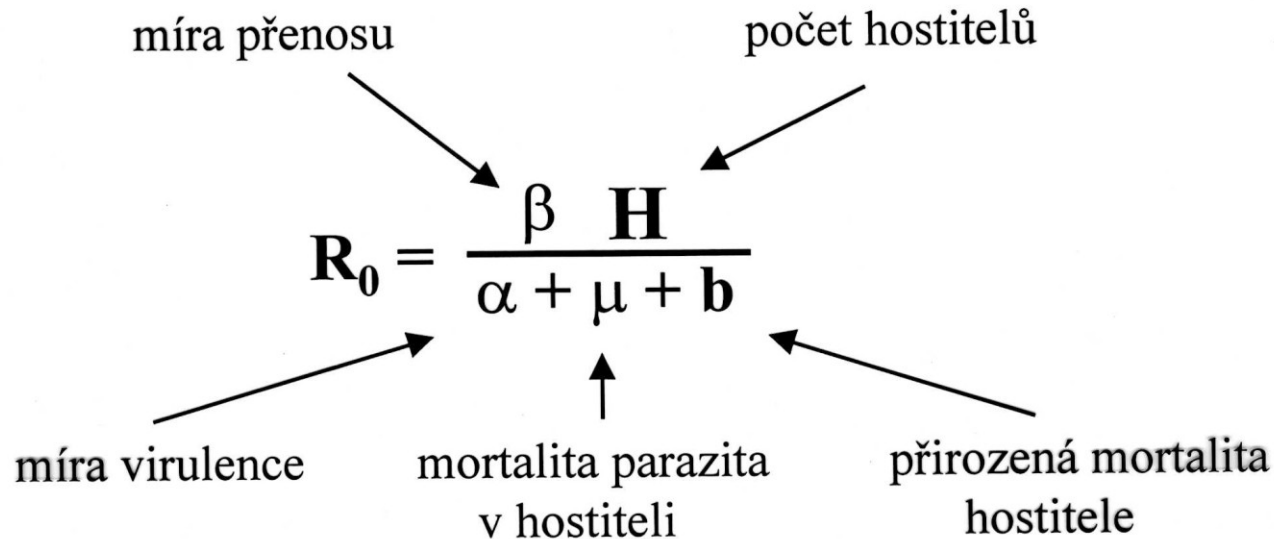
$$R_p = (\lambda_1 L_1 f_{a1}) (\beta_1 N_1 L_{i1} f_{i1}) (\lambda_2 L_2 f_{a2}) (\beta_2 N_2 L_{i2} f_{i2})$$

- $\lambda_1$  a  $\lambda_2$  = rychlost produkce vajíček na dospělé samici a počet cercárií na napadeného plže
- $N_v$  a  $N_h$  = hustota definitivního hostitele (DH) a mezhospitele (MzH)
- $\beta_1$  a  $\beta_2$  = rychlost přenosu cercárií na (DH) a z miracidií na (MzH)
- $L_{i1}$  a  $f_{i1}$  = očekávané délky života a podíl přežívajících do stádia schopného nákazy

# Základní reprodukční rychlost

Práh přenosu:  $R_p = 1 \Rightarrow R_p > 1$  nemoc se bude šířit  
 $R_p < 1$  nemoc vyhasne

**Co určuje hodnotu  $R_p$  ?**



Inverzní vztah reprodukční rychlosti ( $R_0$ ) a virulence ( $\alpha$ )

# Základní epidemiologické modely

**Mikroparaziti**  
šíření přímo  
(*Entamoeba*  
*histolytica*)

**Makroparaziti**  
šíření přímo  
(*Ascaris*  
*lumbricoides*)

**Mikroparaziti**  
šíření vektorem  
(*Plasmodium*)

**Makroparaziti**  
s nepřímým  
přenosem  
(*Schistosoma*)



# Základní epidemiologické modely

## Mikroparaziti

- Mikroparaziti přenášení přímo

Příklad: *Cryptosporidium bailei*  
(Apicomplexa: Eimeridida)

- Mikroparaziti přenášení vektorem

Příklad: *Plasmodium spp.*  
(Apicomplexa: Haemosporidida)

## Makroparaziti

- Makroparaziti šíření přímo

Příklad: *Ascaris lumbricoides*  
(Nematoda: Ascaridida)

- Makroparaziti s nepřímým přenosem

Příklad: *Schistosoma spp.*  
(Platyhelminthes: Digenea)

# Populační dynamika parazitismu

## Mikroparaziti přenášení přímo:

$R_p$  (základní reprodukční rychlost) = průměrný počet nových případů onemocnění, která vznikají z každého nově napadeného hostitele.

$R_p = 1$  je tedy práh přenosu  $\Rightarrow R_p > 1$  nemoc se bude šířit  
 $R_p < 1$  nemoc vyhasne

**Co tedy určuje  $R_p$  ?**

# Mikroparaziti přenášení přímo II

- 1)  $R_p$  stoupá s hustotou jedinců náchylných k infekci ( $N$ )
- 2)  $R_p$  stoupá s rychlostí přenosu ( $\beta$ ); tedy s počtem kontaktů hostitelů a s nakažlivostí choroby, tedy s pravděpodobností, že kontakt povede k přenosu
- 3)  $R_p$  stoupá s podílem hostitelů, kteří přežijí dostatečně dlouhou dobu na to, aby se sami nakazili ( $f$ )
- 4)  $R_p$  stoupá s průměrným časovým obdobím, po které zůstává nakažený hostitel nakažlivým ( $L$ ).

# Mikroparaziti přenášení přímo III

Celkově tedy:  $R_p = \beta N f L$

**Velikost populace**

*versus*

**Práh kritické hustoty ( $N_T$ )**

Platí, že  $R_p = 1 \Rightarrow N_T = \frac{1}{\beta f L}$

# Mikroparaziti přenášení přímo IV

- Vysoká hodnota  $\beta$  = vysoce nakažlivá choroba
- Vysoká hodnota  $f$  = není pravděpodobnost, že zničí hostitele
- Vysoká hodnota  $L$  = dlouhé období nakažlivosti

Celkově tedy bude vysoké  $R_p \Rightarrow N_T$  bude nízké

$\Rightarrow$  (1) při velkých hodnotách  $R_p$  může cizopasník přežít i v malé populaci.

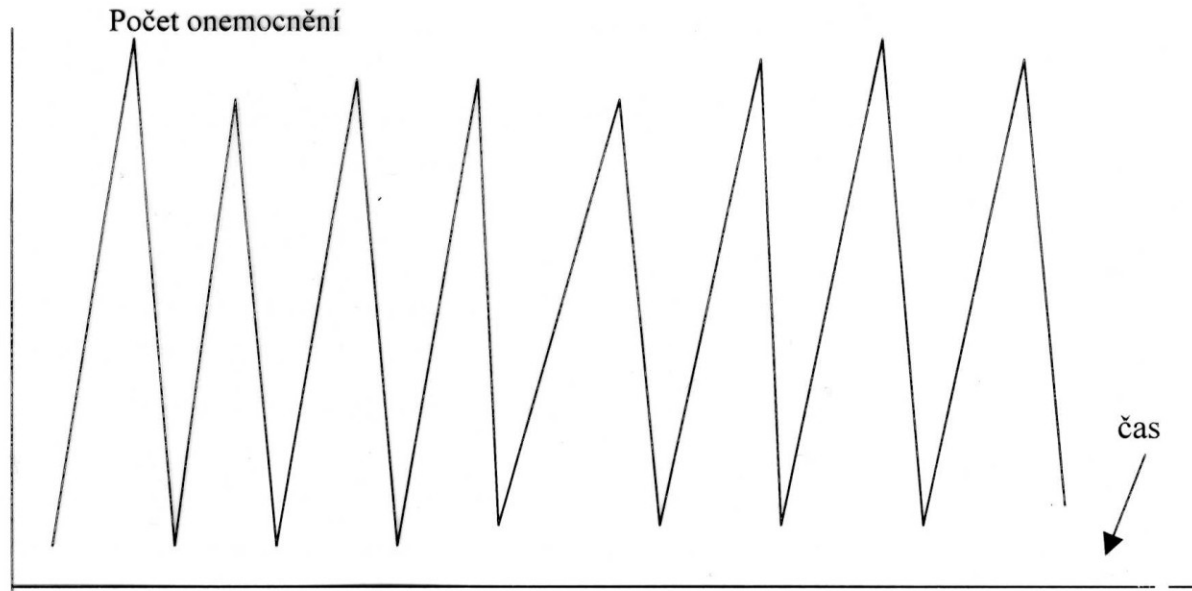
$\Rightarrow$  (2) při malých hodnotách  $R_p$  může cizopasník přežít pouze ve velké populaci.

# Mikroparaziti přenášení přímo V

- (1) Nádorovitost kořenové zeleniny – hlenka *Plasmodiophora* = malé populace
- (2) Nemoc s nízkou nakažlivostí, nebo ničící svého hostitele = velké populace  
(*Spalničky mají endemický výskyt v populace větší než 500 000 jedinců*)

$N$  = počet jedinců v populaci hostitele náchylných k onemocnění  $\Rightarrow$   
imunita snižuje hodnotu  $N$ , a tím i  $R_p \Rightarrow$  pokles onemocnění, který roste  
až po přílivu nových jedinců ( $B + I$ )  $\Rightarrow$  vzniká cyklus:

..... vysoký výskyt  $\Rightarrow$  málo náchylných jedinců  $\Rightarrow$  nízký výskyt  $\Rightarrow$   
mnoho náchylných jedinců  $\Rightarrow$  vysoký výskyt ....



# Mikroparaziti přenášení vektorem I

Do výpočtu  $R_p$  vstupují charakteristiky parazita i hostitele:

$$\text{tedy: } R_p = \beta^2 \frac{N_v}{N_h} f_v f_h L_v L_h \quad \text{kde je:}$$

$N_v$  a  $N_h$  = hustota přenašeče a hostitele (komár *versus* člověk)

$f_v$  a  $f_h$  = podíly infikovaných vektorů a hostitelů, kteří přežívají

$L_v$  a  $L_h$  = časová období, po která zůstávají přenašeči a hostitelé nakažliví

$\beta$  = míra účinného přenosu (např. četnost bodnutí komára) vedoucí ke vzniku infekce (invaze)  $\Rightarrow \beta^2$  – kousnutí přenáší infekci **do** hostitele i z hostitele

# Mikroparaziti přenášení vektorem II

Životní cyklus malárie

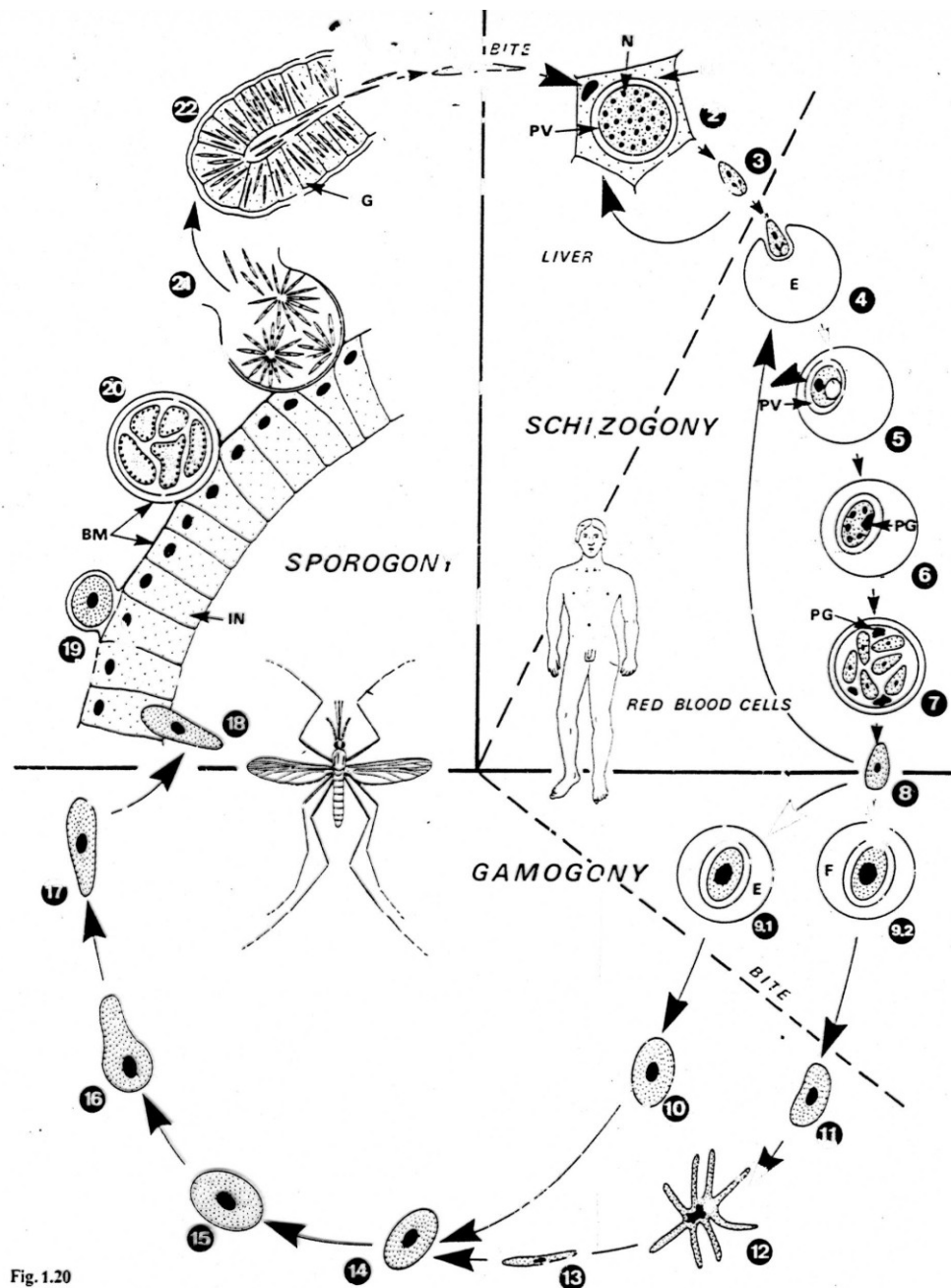


Fig. 1.20



# Mikroparaziti přenášení vektorem III

Práh přenosu ( $R_p = 1$ ) závisí na poměru:

tedy: 
$$\frac{N_v}{N_h} = \frac{1}{\beta^2 f_v f_h L_v L_h}$$

Šíření nemoci  $\Rightarrow$  poměr přenašečů a hostitelů musí překročit kritickou úroveň

$\Rightarrow$  regulace choroby  $\Rightarrow$  snížení počtu přenašečů

$\Rightarrow$  výskyt patogenních organismů v populacích přenašečů je nízký

# Mikroparaziti přenášení vektorem IV

Výskyt parazitů v přenašečích je obecně nízký !

Příklad:

Endemické oblasti malárie  $\Rightarrow$  postiženo  $> 50 \%$  lidské populace

jen 1-2% populace přenašeče (komára)

Vysoká míra přežití hostitele = patogenní organismus má sklon se hromadit (relativně vysoké  $L_h$ )

Přirozená míra přežití přenašeče je nízká = inkubační doba parazita v hostiteli je dlouhá v porovnání s očekávanou délkou života přenašeče.

# Mikroparaziti přenášení vektorem V

## Příklad:

Inkubační doba malárie (*Plasmodium*) v komárovi je 10-12 dní

Očekávaná délka doba života komára je asi 1 týden.

Úspěšná ochrana tedy spočívá v tom, že je nutno zabít miliony nenakažených přenašečů

# Makroparaziti šíření přímo I

Předmět studia makroparazitů = jednotliví paraziti

$R_p$  = počet potomků zplozených dospělým parazitem během reprodukčního období jeho života a dospěvšího do věku, kdy se mohou reprodukovat.

Práh přenosu vymezen podmínkou:  $R_p = 1$

Platí tedy:  $R_p = (\lambda L_a f_a) \times (\beta N L_i f_i)$  kde:



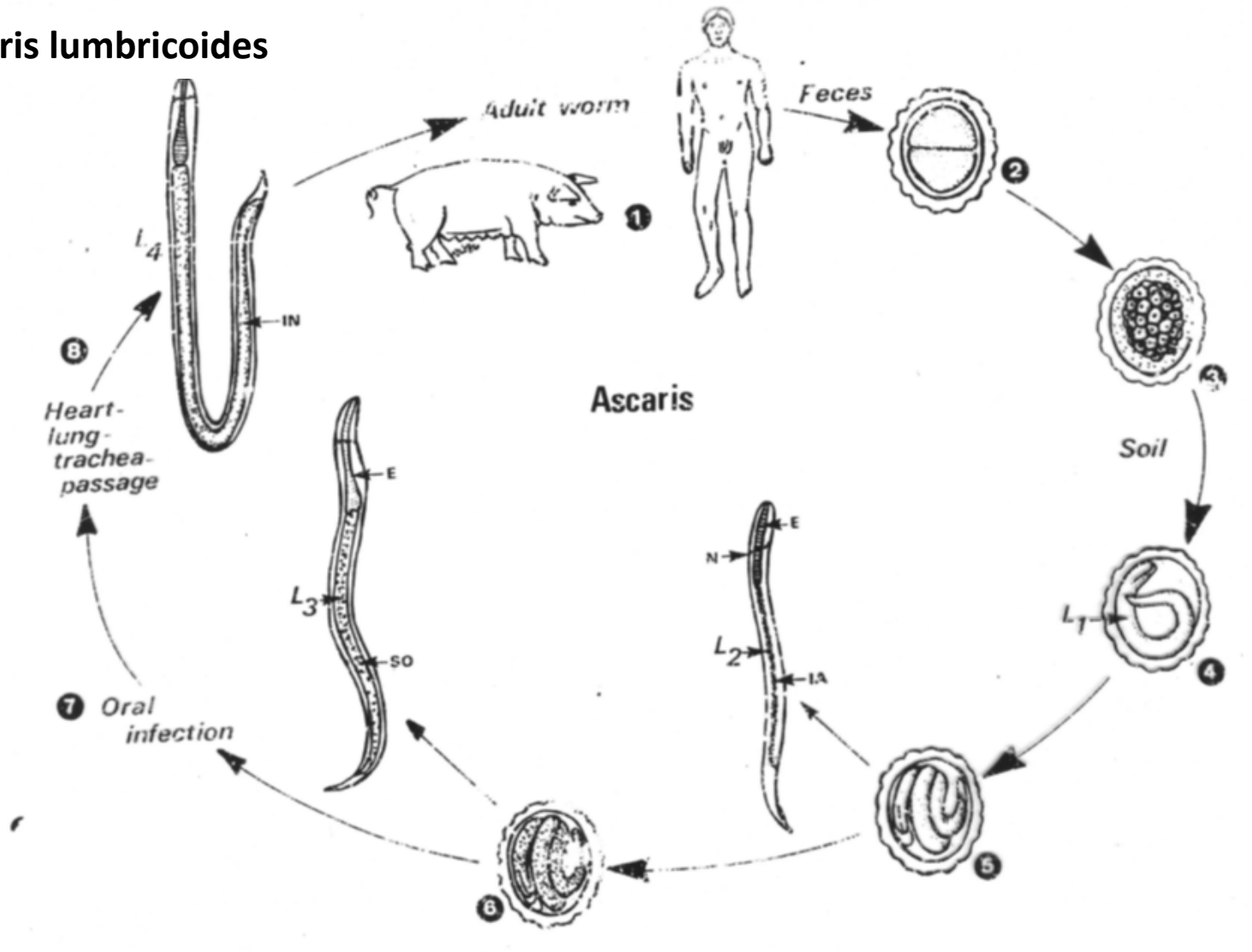
**Reprodukční  
příspěvek  
dospělého  
parazita**



**Reprodukční  
příspěvek  
invazního  
stádia**

# Makroparaziti šíření přímo II

## Ascaris lumbricoides



# Makroparaziti šíření přímo III

$\lambda$  = rychlost produkce vajíček na dospělého jedince

$L_a$  = očekávaná délka života dospělého parazita v hostiteli  
(závisí jak na jeho rychlosti mortality, tak na rychlosti mortality parazita)

$f_a$  = podíl těch parazitů v hostiteli, kteří se dožijí pohlavní zralosti

$\beta$  = rychlost přenosu

$N$  = hustota jedinců

$L_i$  = očekávaná délka života invazního stádia mimo hostitele  
(závisí na jeho rychlosti mortality i na míře kontaktu s novým hostitelem)

$f_i$  = je ta část přenosného stádia, která se stává nakažlivou

# Makroparaziti šíření přímo IV

U mnoha střevních parazitů je způsob přenosu a délka života invazních stádií ovlivněn způsobem pohybu a chováním hostitele.

Vlivy na skutečnou reprodukční rychlost parazita:

- omezení délky života
- dospívání
- reprodukce v hostiteli (závisí na hustotě)

Hustota ( $p/h$ ) ovlivňuje  $\lambda$ ,  $L_a$  a  $f_a \Rightarrow$  tyto parametry rostou na základě konkurence, nebo díky imunitní reakci hostitele

Paraziti přenášení nejkratší cestou mají obrovské rozmnožovací schopnosti ( $\lambda$  je velmi velké).

# Makroparaziti šíření přímo V

## Příklad:

měchovec (*Necator*) = 15 000 vaj./den

škrkavka (*Ascaris*) = 200 000 vaj./ den

⇒ Kritické prahové hustoty těchto cizopasníků jsou velmi nízké

⇒ Tito cizopasníci mají endemický výskyt v populacích člověka (společenstva lovců, sběračů)



# Makroparaziti s nepřímým přenosem I

Základní reprodukční rychlost u této skupiny makroparazitů závisí na velkém počtu údajů (příklad – *Schistosoma haematobium*):

$$R_p = (\lambda_1 L_{a1} f_{a1}) (\beta_1 N_1 L_{i1} f_{i1}) (\lambda_2 L_{a2} f_{a2}) (\beta_2 N_2 L_{i2} f_{i2})$$

$\lambda_1$  a  $\lambda_2$  = rychlost produkce vajíček na dospělé samici a počet cercárií na infikovaného plže

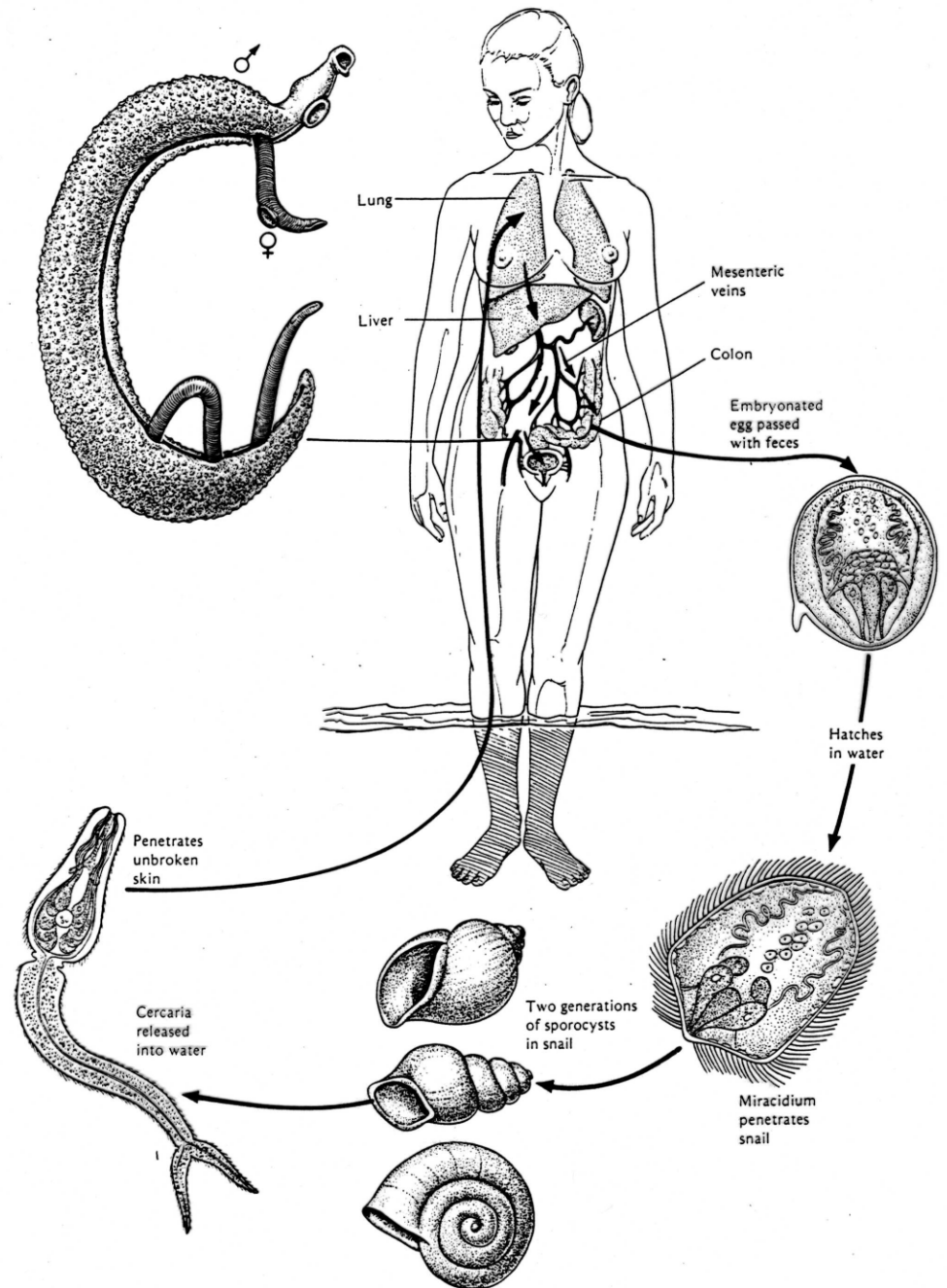
$N_1$  a  $N_2$  = hustota hostitele (člověka) a hustota mezihostitele (plže)

$\beta_1$  a  $\beta_2$  = rychlost přenosu z cercárií na hostitele a z miracidii na plže

$L_{i1}$  a  $f_{i1}$  = očekávané délky života a podíl přežívajících do nakažlivého stádia v případě dospělých parazitů, miracidii, nakažených plžů a cercárií.

# Makroparaziti s nepřímým přenosem II

Životní cyklus Schistosoma heamatobium



# Makroparaziti s nepřímým přenosem III

Tato rovnice umožňuje pochopit epidemiologii nemoci.

Příklad: Šíření schistosomózy je omezeno =  $f_{a2}$  je nízké (tj počet infikovaných plžů, kteří přežijí a uvolní cercárie). Vývoj cercárií v plži = 28 – 30 dní; plži sami žijí jen 14 – 54 dnů).

**U přímo přenášených makroparazitů je klíčová závislost na hustotě !**

Prahová hustota závisí na součinu:  $N_1 \times N_2 \Rightarrow$  na hojnosti lidí a plžů

Důvod k tomu je obou směrný přenos volně žijících invazních stádií.

Populaci lidí snižovat nelze  $\Rightarrow$  **regulace schistosomózy** jde proto cestou snižování hustoty plžů.