

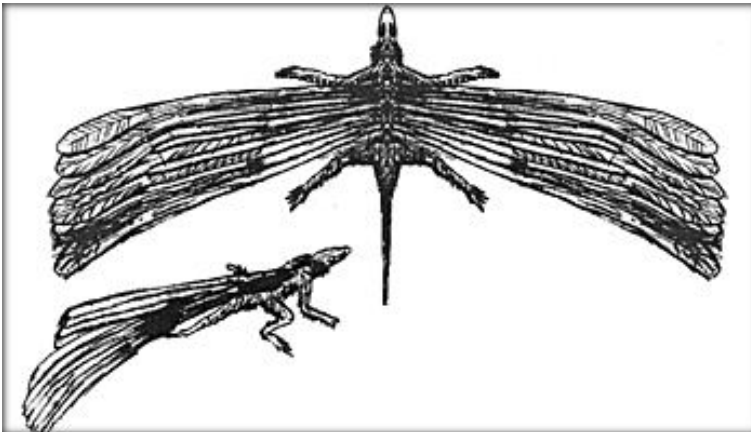
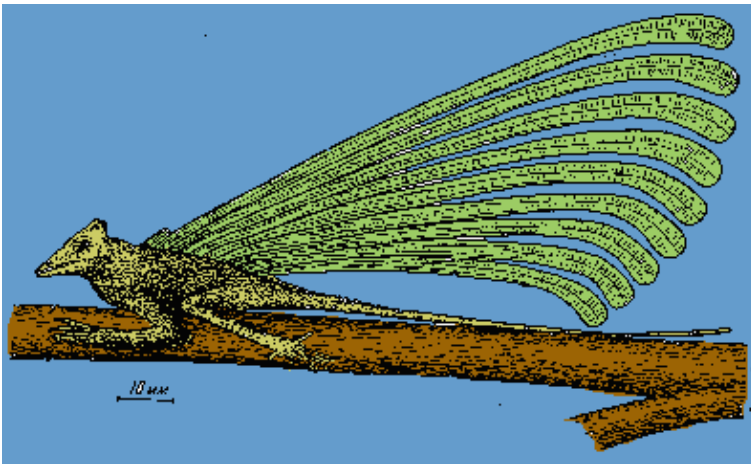
Let, letový aparát a lovecké strategie

První letci

Jamkozubí archosauři (Archosauria - Thecodontia) - v triasu

- klouzavý let (gliding) - *Longisquama* (240 mil. let)

Longisquama insignis



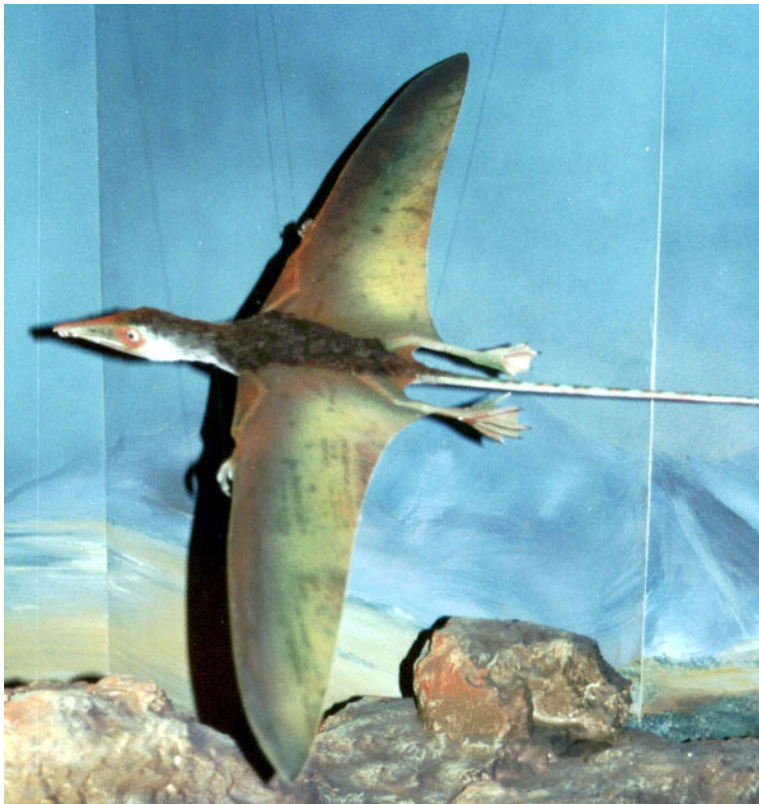
Sharovipterix



Ptakoještěři (Archosauria – Pterosauria) – svrchní trias

- aktivní let (flapping flight) - *Eudimorphodon*,
Dimorphodon (230 mil . let)

Eudimorphodon



Dimorphodon



- velké formy v juře a křídě - *Pteranodon* (165 mil. let)

Pteranodon sp.



Let u ptáků



Archaeopteryx lithographica 135 mil. let



Let u savců

MARSUPIALIA - Vačnatci Austrálie

- f. Phalangeridae - kuskusovití
vakoplšík létavý - *Acrobates pygmaeus*
- f. Petauridae – vakoveverkovití (3) - *Petaurus* spp.
- f. Pseudocheiridae
vakovec - *Schoinobates*

Acrobates pygmaeus



Feather-tailed glider (Acrobatidae: *Acrobates pygmaeus*)

Petaurus breviceps



RODENTIA

létající formy: méně mláďat ve vrhu, delší březost a odchov mláďat (menší riziko predace než u terestrických druhů), noční stromové formy

- f. Sciuridae, subf. Petauristinae - poletuchy - 13 rodů, 36 druhů, JV-Asie, druhy v Severní Americe, 1 druh na Sibiři a v SV Evropě *Pteromys volans* - poletuška slovanská



- f. Anomaluridae - šupinatkovití - 7-10 druhů, 2 řady šupin na spodní straně ocasu – *Anomalurus*
- f. Theridomyidae, z eocenu, spolu s předchozí podřád Theridomorpha



Anomalurus sp.

DERMOPTERA - letuchy, JV Asie



Cynocephalus volans - l. filipínská

30-70 m bez ztráty výšky,
max. 136 m (ztráta výšky 10-
12 m)

Všichni jen klouzavý let (gliding) mezi stromy 50-100 m,
osrstěná blána mezi předními a zadními končetinami.

C. variegatus - l. malajská



CHIROPTERA - letouni, aktivní let

Icaronycteris index

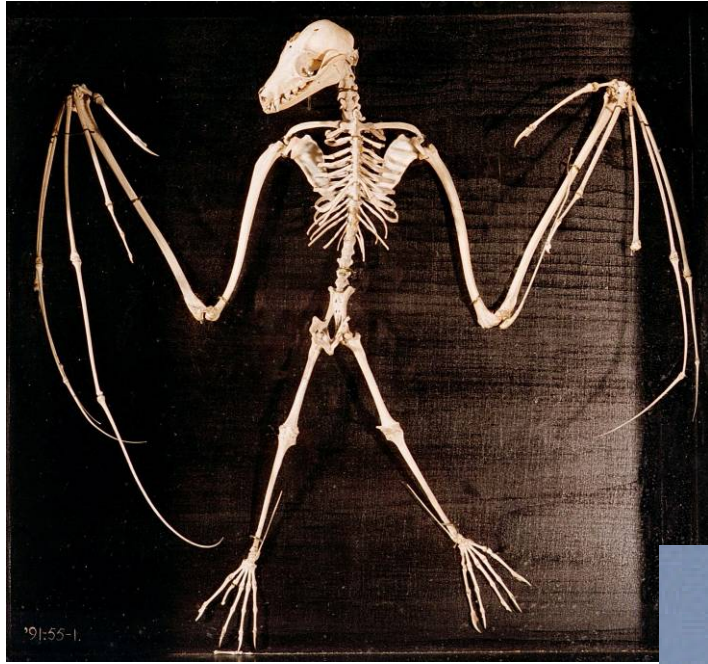
Green River, Wyoming

eocen (60 mil. let),
LC:70 mm, LAt: 48
mm



jen jednoduchý
kloub humerus-
scapula

Pteropodidae - kaloni



Pteropus vampyrus (1,5 m)

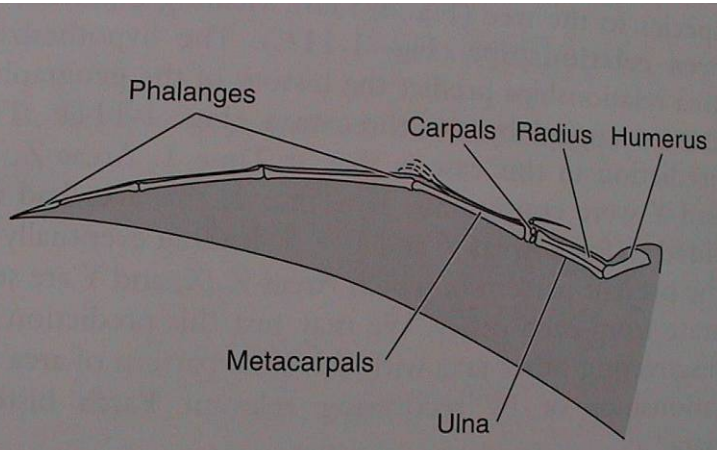


Rhinolophoidea – vrápenci s.l.
Yangochiroptera - netopýři

Craseonycteris thonglongyai

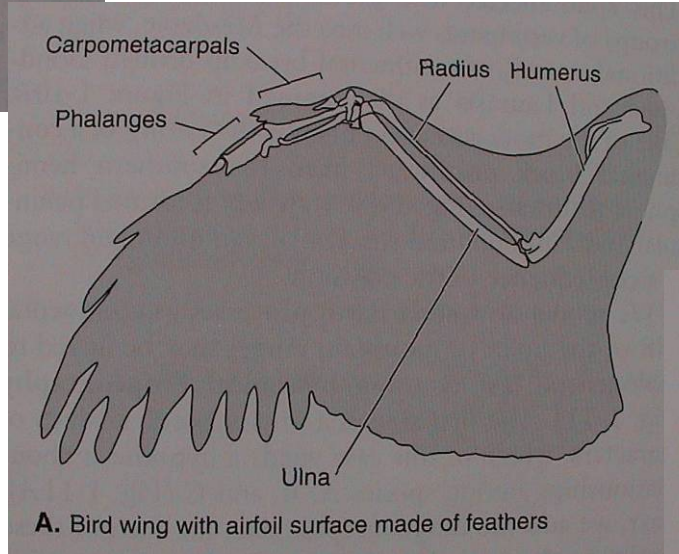


Srovnání křídelní kostry



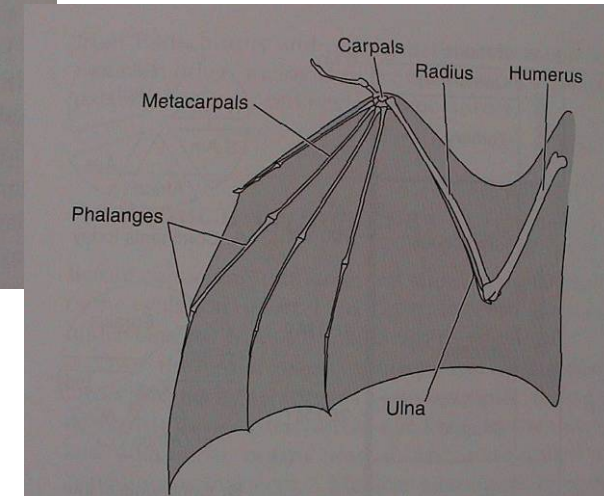
C. †Pterosaur wing with airfoil surface made of skin supported by a single elongated digit

pták



A. Bird wing with airfoil surface made of feathers

letoun



ptakoještěř

Vznik letu

2 teorie:

- stromová (arboreal) - Darwin 1859, od klouzavého letu ze stromu k aktivnímu letu;
- z běhu (cursorial) - Caple et al. 1983, Norberg et Rayner 1987, běh - poskoky - roztažení křídel - odlepení se ze země - klouzavý let - aktivní let

a) gliding (klouzání) →

b) flapping (mávání)

Vznik letu letu a echolokace u letounů

Vznik letu a echolokace (Speakman 1999)

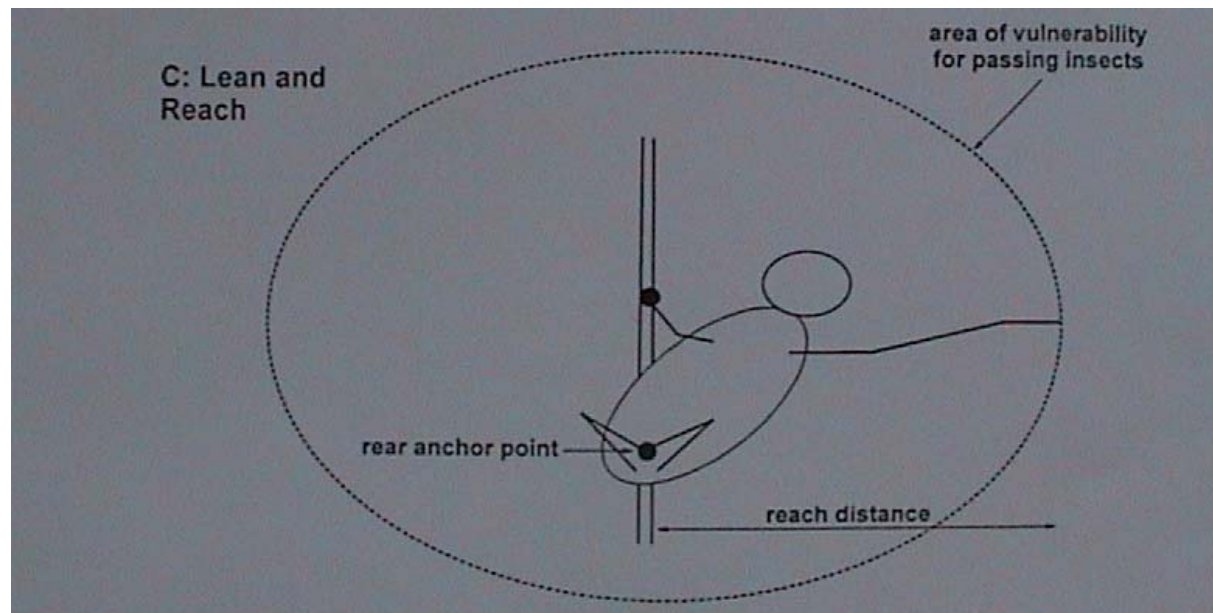
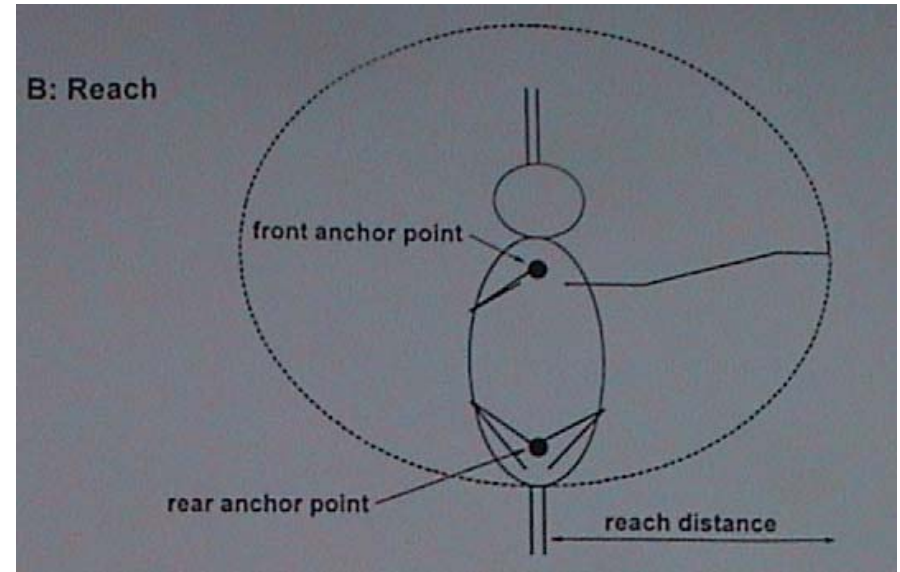
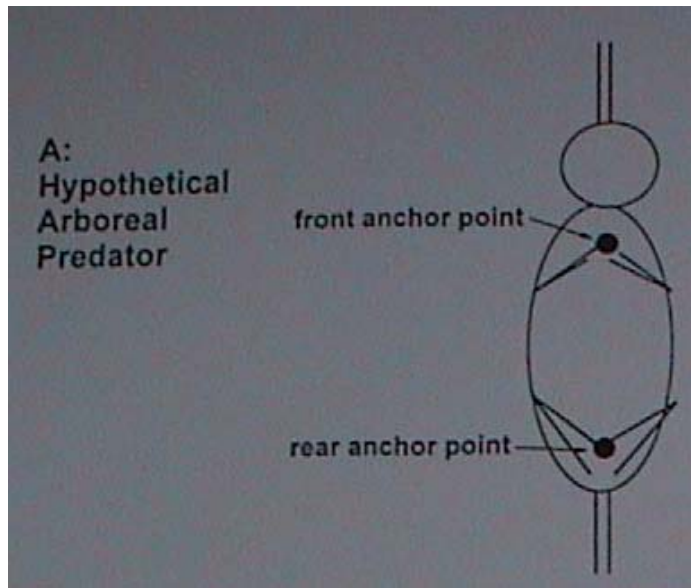
přímí předkové netopýrů (pre-bats) v eocenu

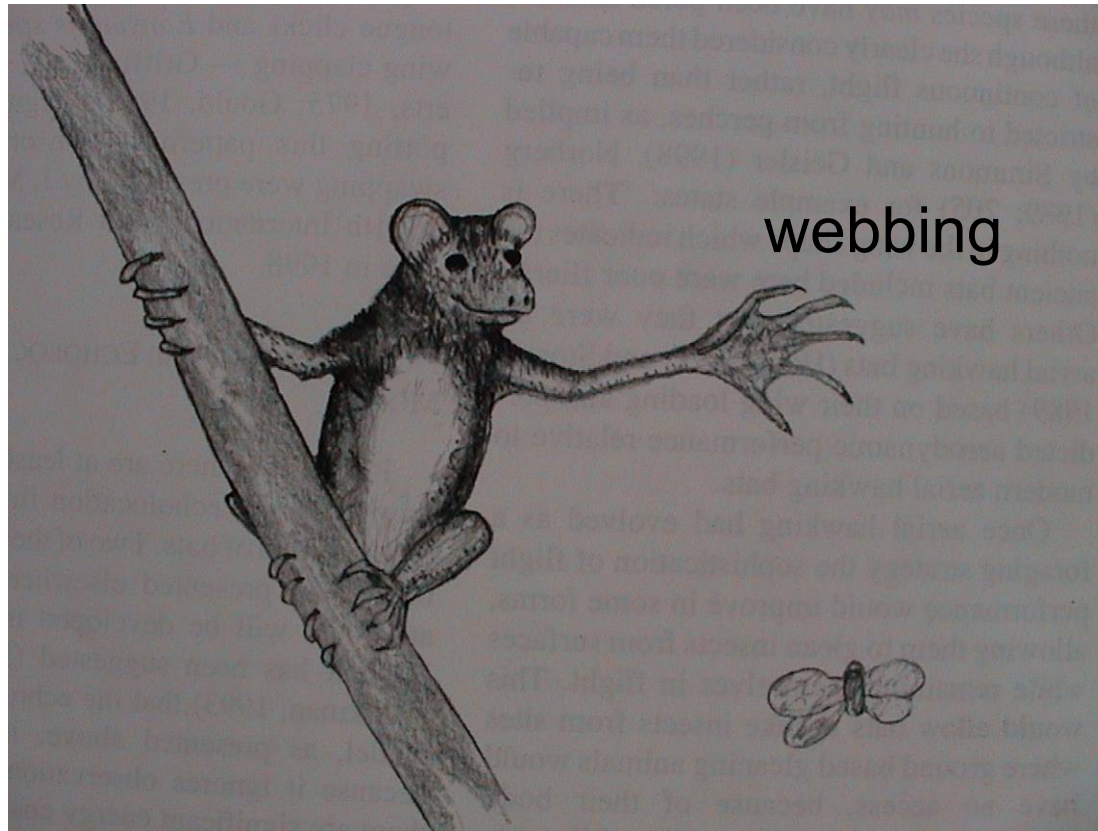
3 hypotézy:

- 1) Echolocation first hypothesis
- 2) Flight first hypothesis
- 3) Parallel development of flight and echolocation

Vznik letu u letounů

Reach hunting - lov z číhané





Reach hunting (pre-bat)



Perch hunting (vrápenci, *Plecotus*)



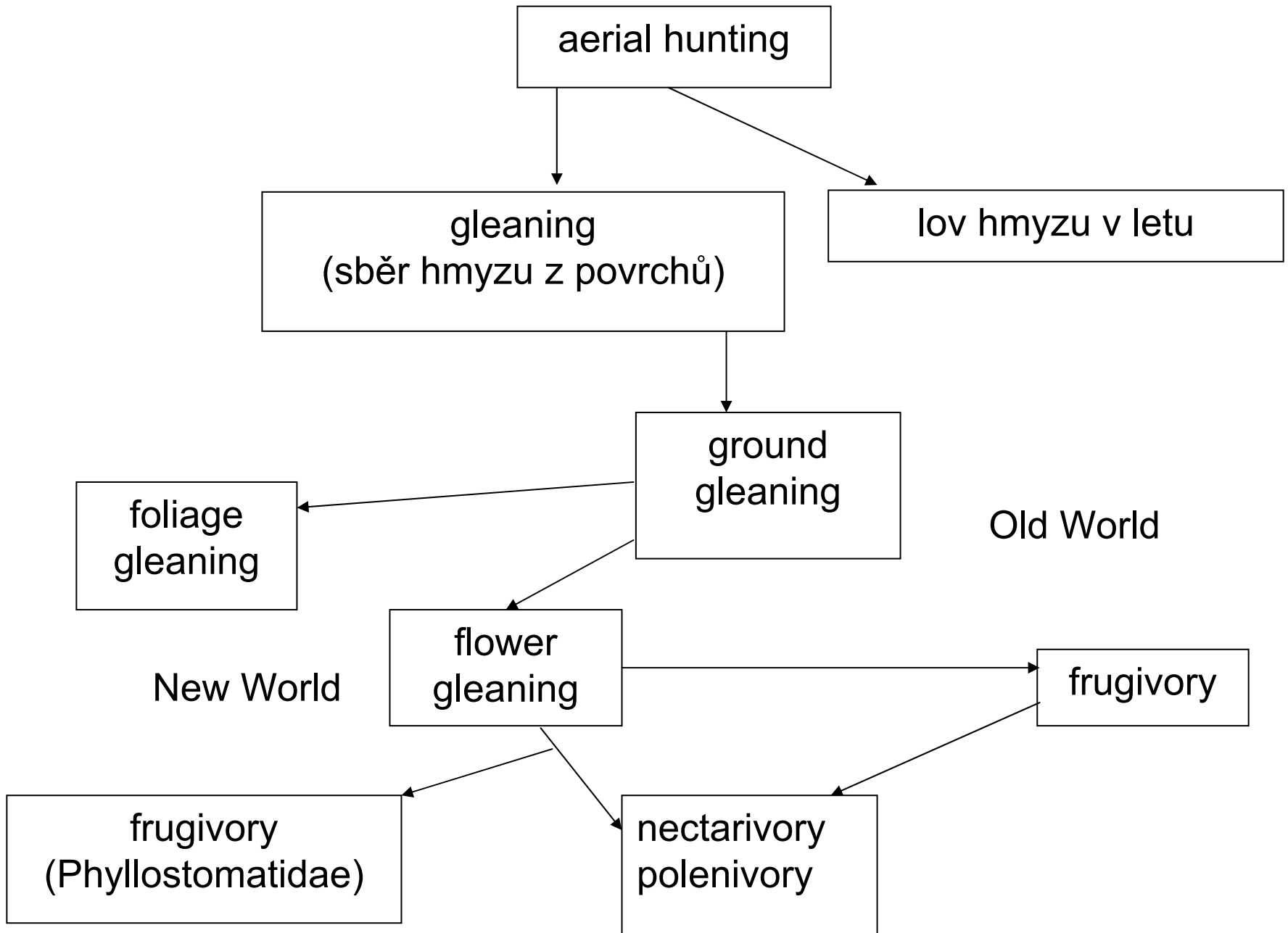
(gliding)



Aerial hunting

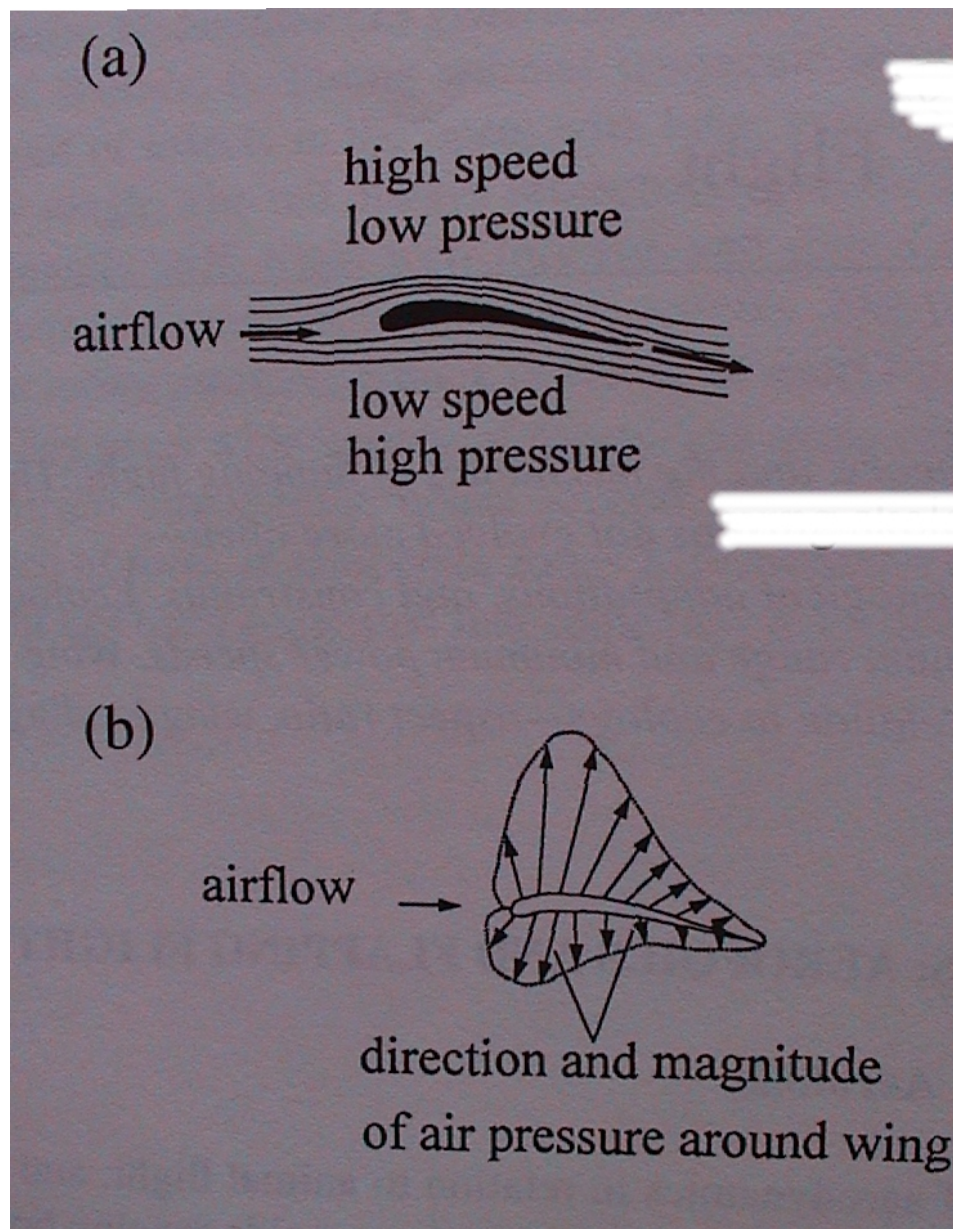
Icaronycteris, *Archaeonycteris* - PH nebo již AH (poor fliers)

Rozvoj loveckých strategií

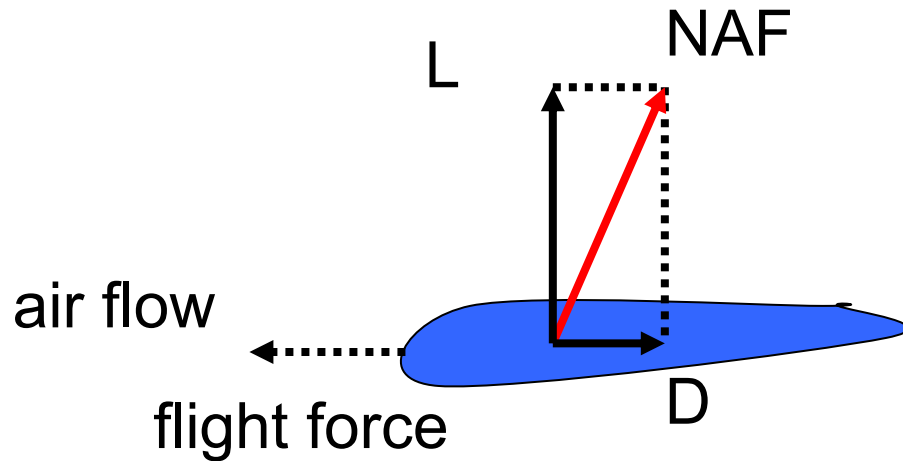


Létací aparát

Podmínka letu: vznik dostatečně velké vztlakové síly při obtékání křídla



Výsledná aerodynamická síla (net aerodynamic force - NAF) = vektorový součet vztlaku (lift - L) a horizontálního odporu vzduchu při letu vpřed (drag - D)



$$D = 0,5 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S \cdot C_D$$

ρ ... hustota vzduchu

V ... rychlost letu

S ... plocha křídla

C_D ... koeficient odporu

$$L = 0,5 \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S \cdot C_L$$

C_L ... koeficient vztlaku

weight $G=mg$

Optimum - **$L : D = 10 : 1$**

Stanovení plochy křídla - S
(odhad dle Blood & McFarlane 1988)

$$S = (FA \times D5) + 0,5 \cdot (D5 \times D3)$$

FA ... forearm, předloktí, D ... digit, prst

Složky odporu:

Indukovaný odpor - induced drag

Profilový odpor - profile drag

Doplňkový odpor - parasite drag

Letová energie: $P = P_{aer} + P_{ine}$

$P_{aer} = P_{ind} + P_{pro} + P_{par}$ aerodynamická síla potřebná pro vznik vztlaku (opačná orientace než složky odporu)

P_{ine} (inerted) nezávislá setrvačná síla pro pohyb křídel nahoru a dolů ($p = 0, D = 0$)

P_{ind} ... k překonání turbulence, pro vznik vztlaku a tahu vpřed, klesá s rostoucí rychlostí letu a rozpětím křídel, roste s hmotností, význam u pomalu létajících

P_{pro} ... k překonání odporu křídel, roste s letovou rychlostí a plochou křídel, význam u rychle létajících, výhodnější přímý let

P_{par} ... k překonání odporu těla, dána frontálním profilem trupu, analogie

Závěr: minimální aerodynamická síla

- proudnicový tvar těla $P_{\text{par}} = \text{min.}$
- nízká hmotnost $P_{\text{ind}} = \text{min.}$
- dlouhá křídla $P_{\text{ind}} = \text{min.}$
- vysoký tvarový poměr křídel - aspect ratio AR (malá plocha křídel, velké rozpětí) $P_{\text{pro}} = \text{min.}$

$$\mathbf{AR = b^2/S} \quad b = \text{rozpětí, } S = \text{plocha}$$

Faktory ovlivňující hodnotu energie potřebné k letu

1) třepotavý let (hovering)

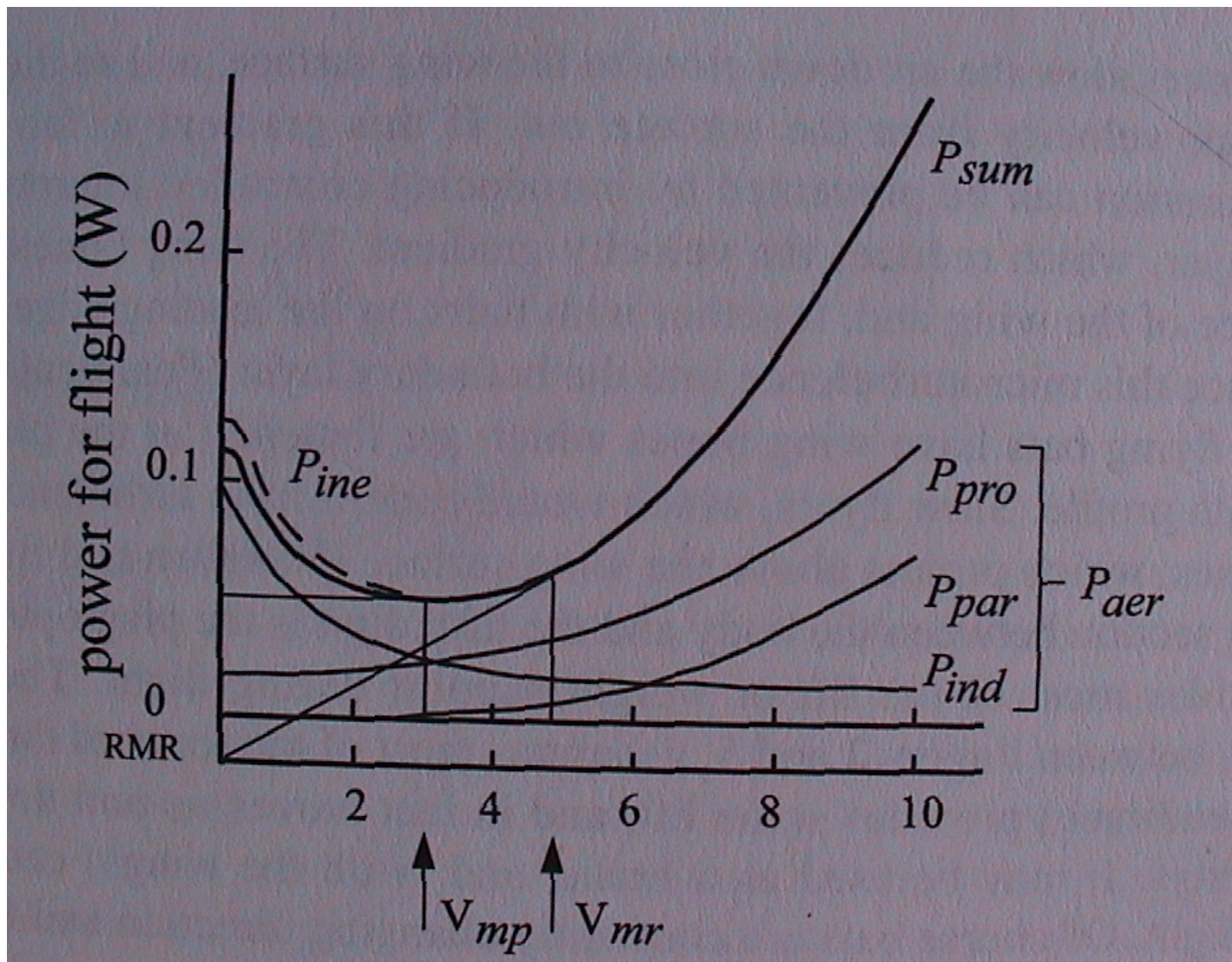
$$P_{\text{ind}} \sim m \cdot g^{3/2} / b \quad P_{\text{pro}} \sim b^3 \cdot \mathbf{S} / T^3 \quad T \dots \text{doba mávnutí křídla} \sim b$$

2) rychlý přímý let (hawking)

$$P_{\text{ind}} \sim m \cdot g^2 / b^2 \cdot V \quad P_{\text{pro}} \sim S \cdot V^3 \quad P_{\text{par}} \sim A \cdot V^3$$

A... frontální plocha těla

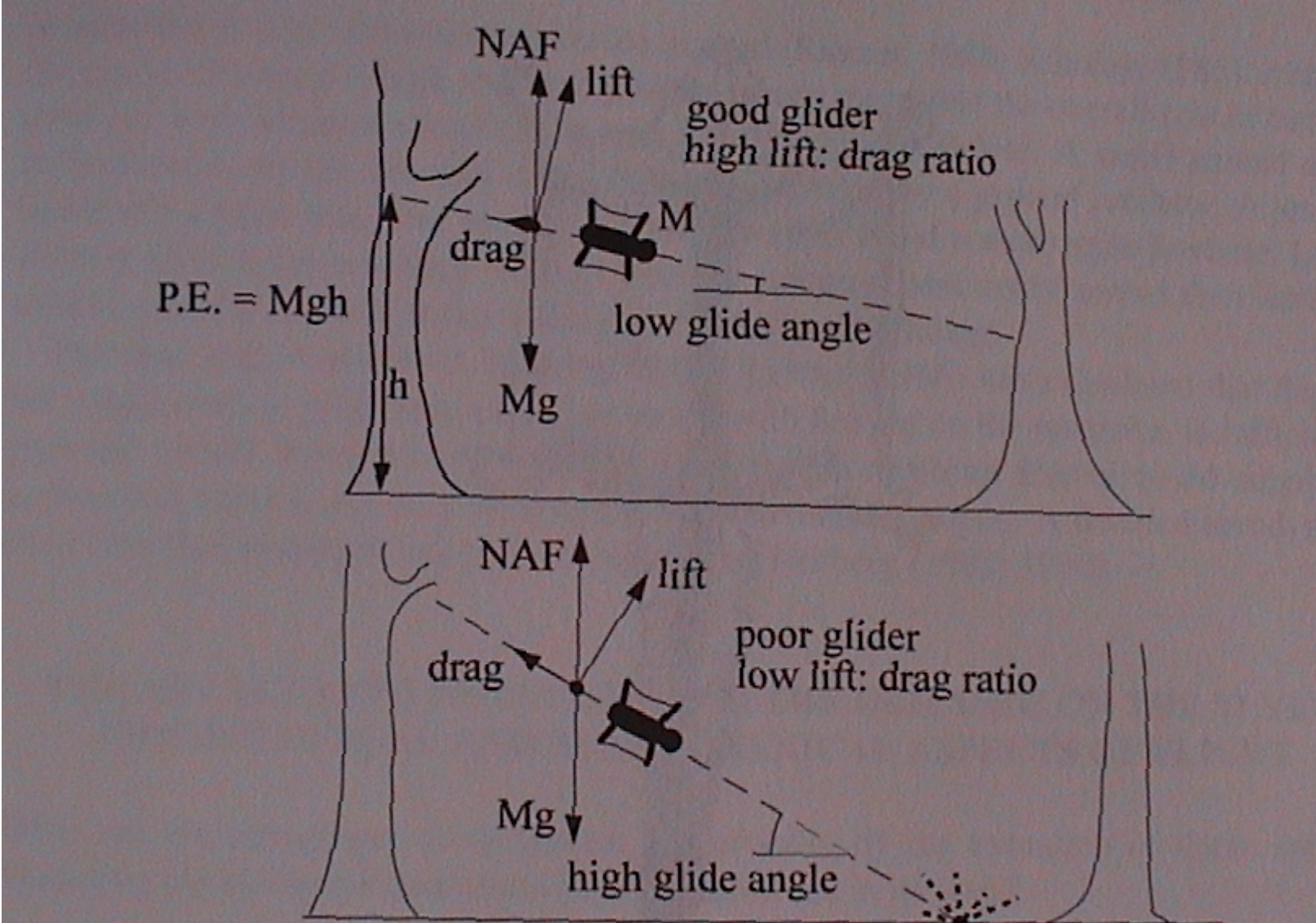
Energie se snižuje s klesající hmotností a plochou křídla



V_{mp} ... letová rychlost s minimální energetickou spotřebou za jednotku času (minimum power speed)

V_{mr} ... letová rychlost s nejdelším doletem za jednotku „paliva“

Gliding (klouzavý let)



Morfologie křídla

Tvar křídel versus lovecké strategie (kde loví, jak loví, co loví)

Extrémy: relativní velká plocha v. relativní malá plocha

Parametry:

1) WING LOADING (zatížení křídel, nosnost)

$$WL = m.g/S \text{ [N.m}^{-2}\text{]} \quad \text{velcí netopýři s malými křídly}$$

2) ASPECT RATIO (tvarový poměr)

$$AR = b/c \quad b \dots \text{ rozpětí křídel, } c \dots \text{ průměrná šířka křídla}$$

$$S = b.c$$

$$AR = b.b/b.c \quad AR = b^2/S$$

netopýři s dlouhými úzkými křídly

3) další parametry: poměr mezi ruční (chiropatagium) a pažní částí (plagiopatagium), charakter špičky křídla (manévrování)

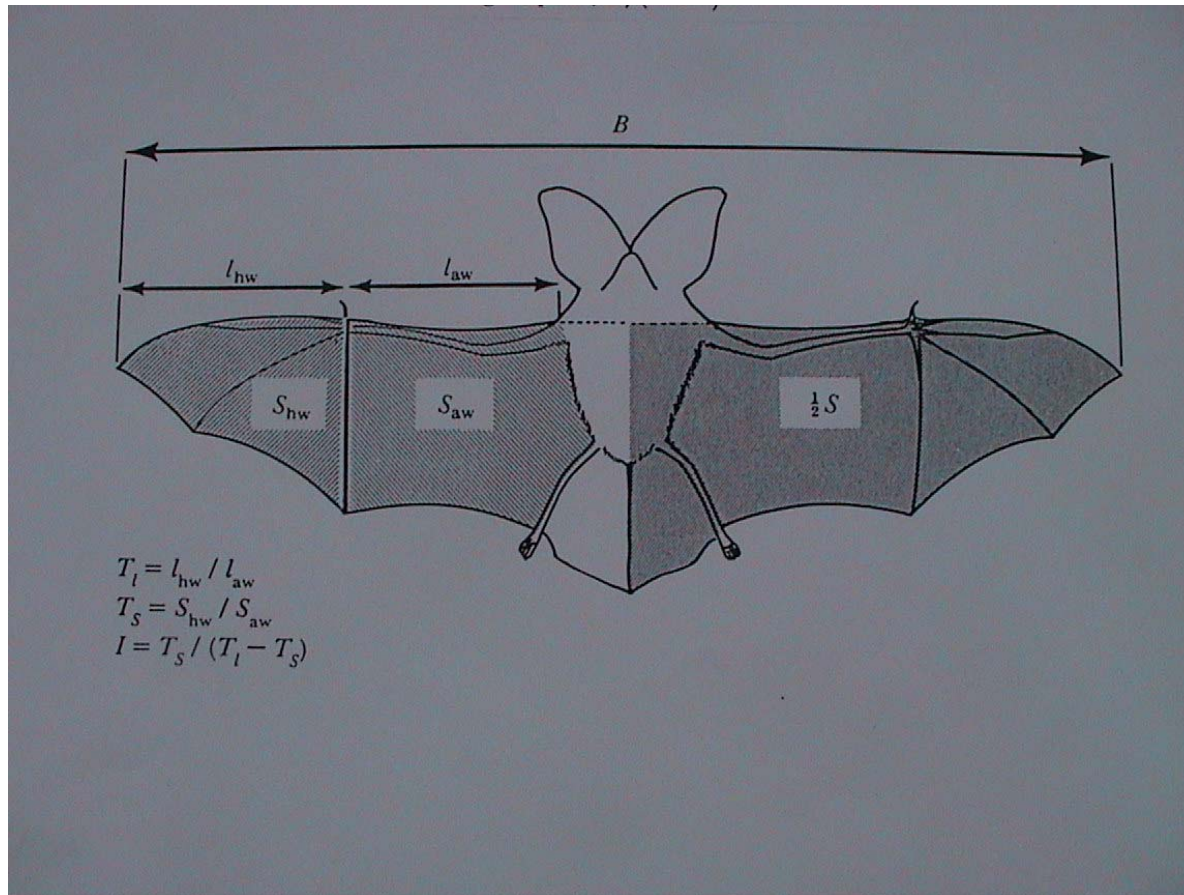
tip area ratio $T_S = S_{hw}/S_{aw}$

hand wing area, arm wing area

tip length ratio $T_l = l_{hw}/l_{aw}$

hand wing length, arm wing length

wingtip shape index $I_{tip} = T_S / (T_l - T_S)$



WL versus AR

Principal component analysis

<WL
>AR

short-range
hawking,
trawling
malí, úzká
dlouhá křídla
pomalý přímý let
trawlers

<WL
<AR

gleaning,
hovering
široká krátká
křídla
pomalý třepotavý
let v korunách

>WL
>AR

long-range
hawking
velcí, úzká
dlouhá křídla
rychlý přímý let
ve výškách

migrators

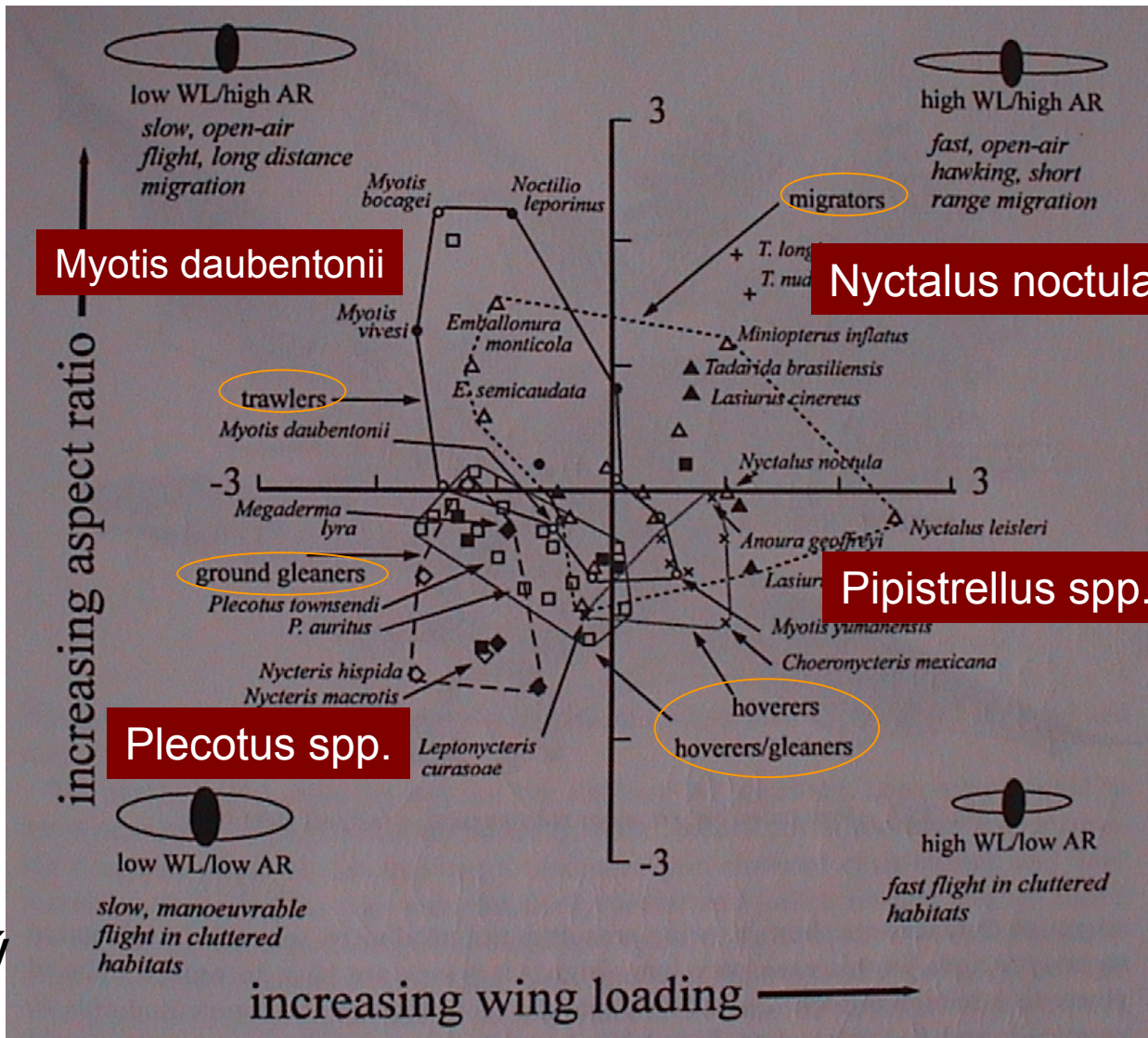
>WL

<AR

hovering

krátká
křídla
rychlý let,
manévrován
v korunách

hoverers



Myotis daubentonii

Nyctalus noctula

Plecotus spp.

Pipistrellus spp.

gleaners, flycatchers

Lovecké strategie

- Fast, long-range hawking: lov ve volném prostoru za rychlého letu, migrace, max. WL, AR - *N. noctula*, *Vespertilio murinus*, *Miniopterus schreibersii*
- Slow, short-range hawking: lov ve volném prostoru za pomalého letu, let ve výškách, max. WL, min. AR - *N. leisleri*
- Trawling: sběr z vodní hladiny, min. WL, max. AR - *M. daubentonii*, *Noctilio leporinus*
- Gleaning a hovering: sběr z povrchů nebo lov z třepota-vého letu, min. AR - *Plecotus* spp., *Rhinolophus* spp.
- Flycatching: lov z vyvýšeného místa, z číhané - *Plecotus* spp.

Většina druhů používá zpravidla kombinaci více strategií.

Vliv biotopu, potravní nabídky a její dosažitelnosti.

Převažuje potravní oportunistus nad specializací.

Volba strategie: minimální ztráty, maximální efekt

Lovecké zóny

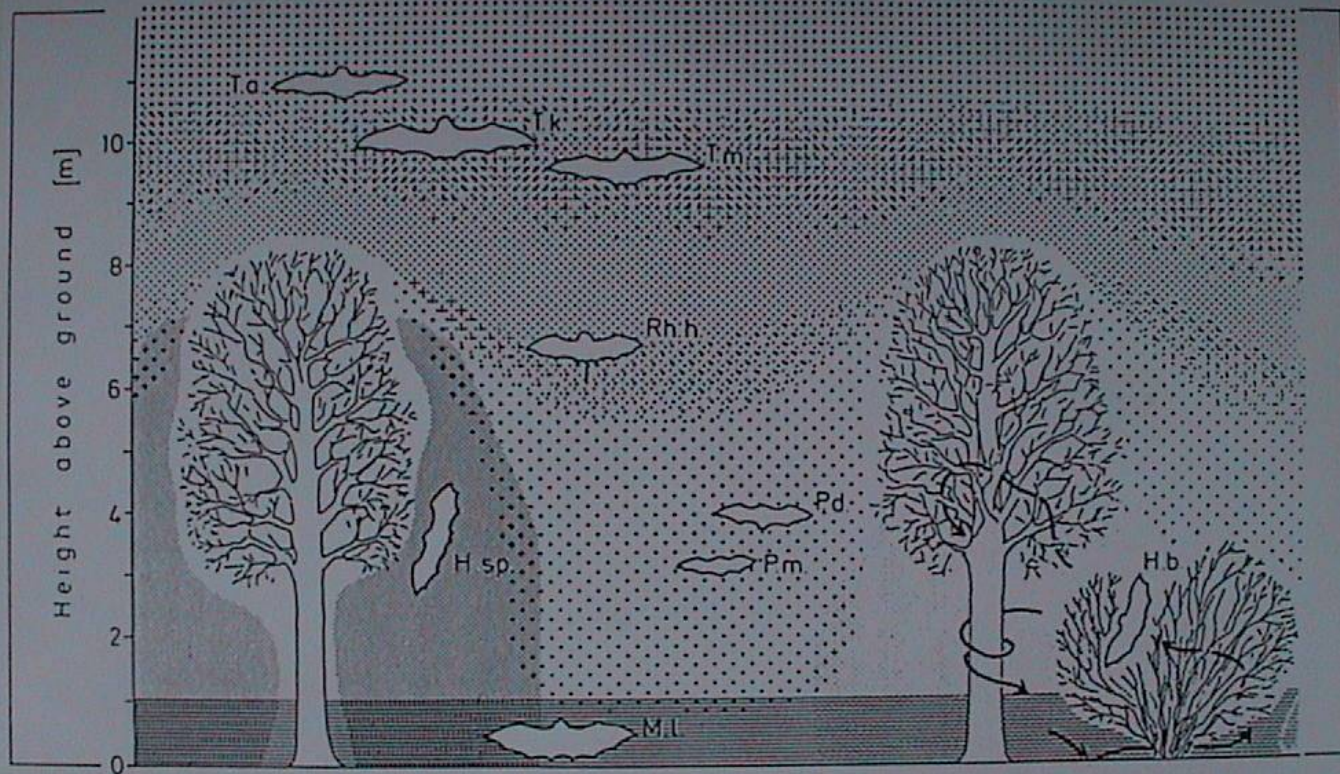


Fig. 1. Preferred foraging zones of the nine most common echolocating bat species in Madurai (South India). Zones of open spaces: T.a. *Tadarida aegyptiaca*, T.k. *Taphozous kachhensis*, T.m. *Taphozous melanopogon*, Rh.h. *Rhinopoma hardwicki*, P.d. *Pipistrellus dormeri*, P.m. *Pipistrellus mimus*. Zone close to and within vegetations: H.sp. *Hipposideros speoris*, H.b. *Hipposideros bicolor*; arrows indicate typical flight paths of *H. bicolor*. Ground gleaning: M.l. *Megaderma lyra* (after [9])

open - semicluttered - cluttered