

# Schlaf, Traum, und Lernen

Prof. Manfred Fahle  
Human- Neurobiologie  
Universität Bremen

# Schlaf

- ist charakterisiert durch vier Kriterien:
  - reduzierte motorische Aktivität
  - reduzierte Beantwortung sensorischer Reize
  - stereotype Haltung (beim Menschen: Flachlage, geschlossene Augenlider)
  - relativ leichte Reversibilität (im Vergleich zu Winterschlaf, Koma, „Sommerschlaf“)
- Keine endogene Substanz bekannt, die natürlichen Schlaf auslöst
- relevante Stoffe: Melatonin, Interleukin-1, Adenosin, Prostaglandin D2, ect

# Schlaf-Zentren

- bis 1945 vorherrschende Meinung: Schlaf ist Resultat der verminderten Aktivität eines ‚ermüdeten‘ Gehirns
- Durchtrennung der aufsteigenden sensorischen Faserverbindungen im Hirnstamm interferiert *nicht* mit Schlaf/Wach-Rhythmus
- Läsionen der Formatio reticularis hingegen produzieren Schlaf-ähnlichen Zustand (Stupor)
- daher: Reduktion der Aktivität der Formatio reticularis produziert Schlaf
- genauer: Anteil der F. R. oberhalb der Brücke trägt zum Wachzustand bei, Anteil unterhalb der Brücke hemmt den oberen Anteil

# Schlaf-Rhythmus

- Schlaf-Rhythmus folgt einem endogenen 24 Stunden-Zyklus
- wird beeinflusst durch äussere Zeitgeber (ins. Sonnenlicht)
- als ‚innere Uhr‘ dient u. a. der suprachiasmatische Kern des vorderen Hypothalamus, der visuelle Informationen erhält (retino-hypothalamischer Trakt). Läsionen -> Schlafrhythmus-Störungen, normale Gesamtschlafdauer
- Umstellen der inneren Uhr ist unangenehm
- Gesamt-Schlafzeit wird nur mäßig durch Variationen der Tätigkeit und Reizung verändert
- Schlaf-Defizit führt zu nachfolgendem verlängerten Schlaf

Awake

Sleep stage 1

2

3

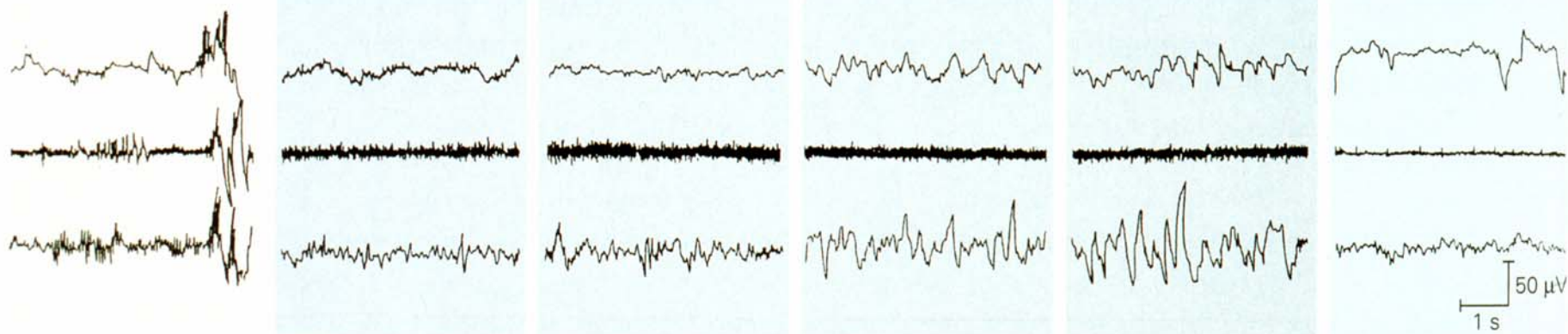
4

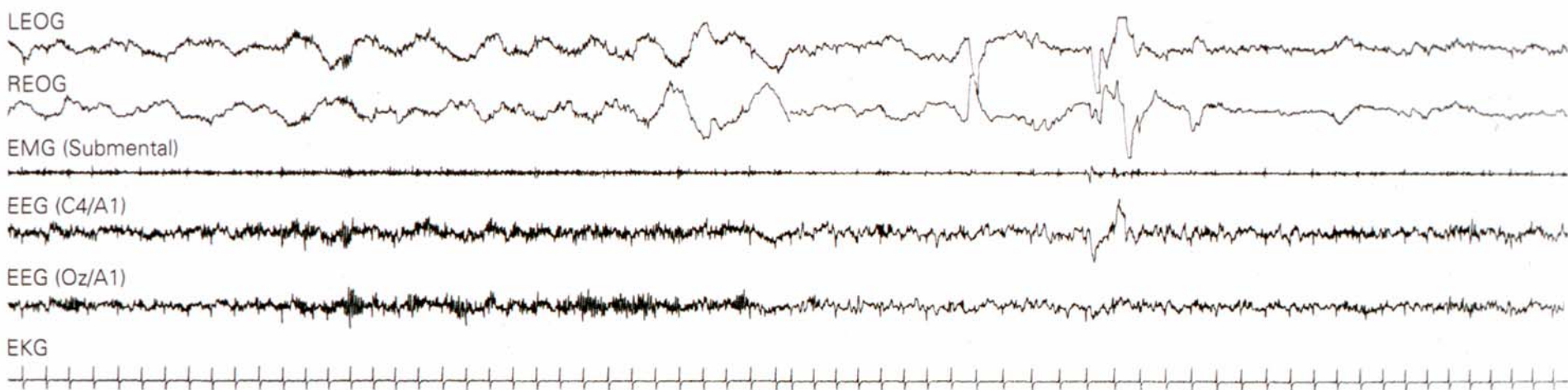
REM

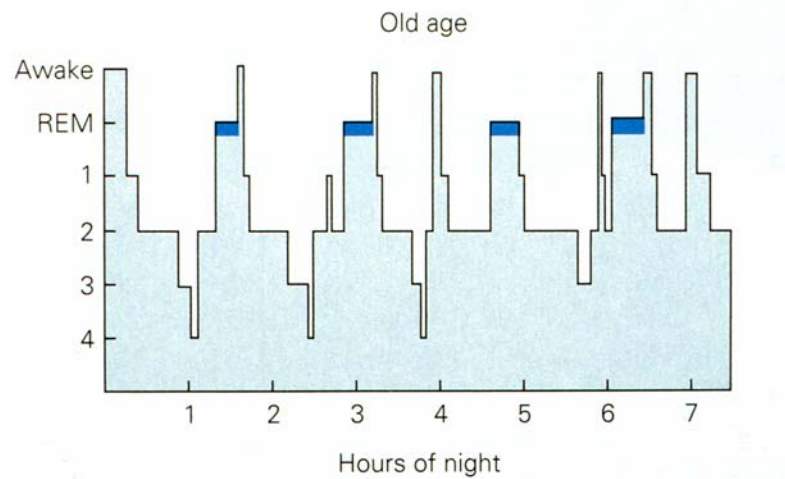
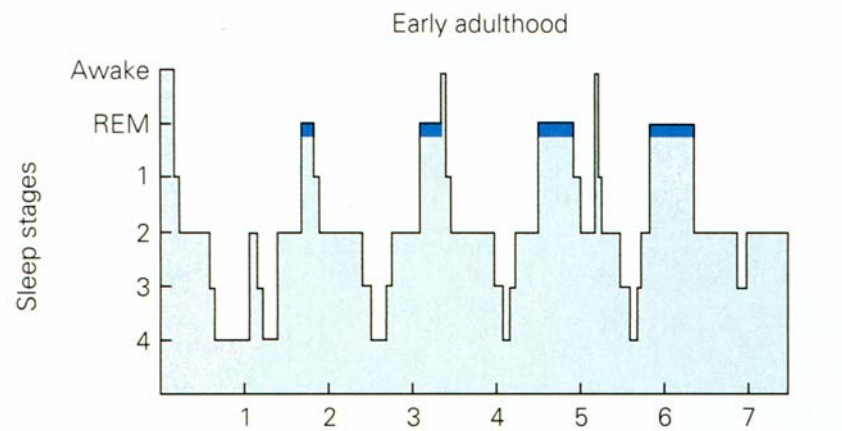
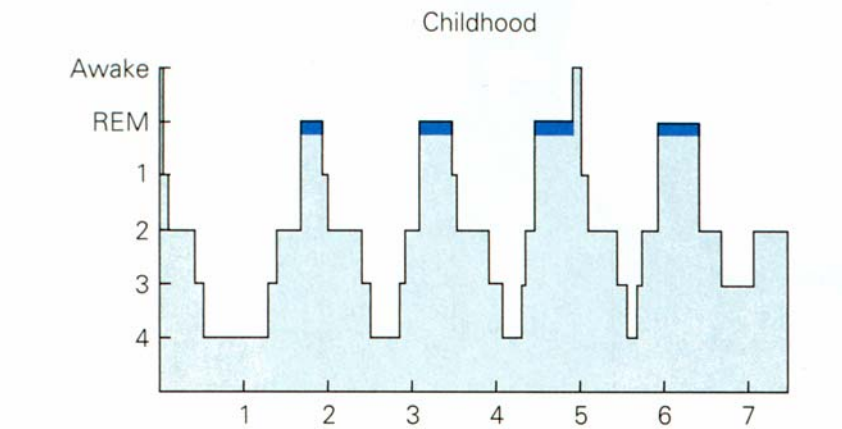
EOG

EMG

EEG







# Schlaf-Phasen

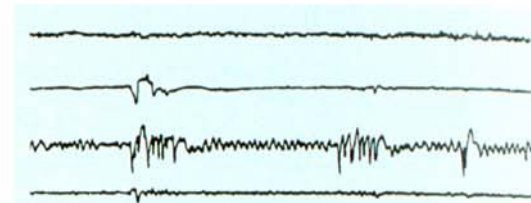
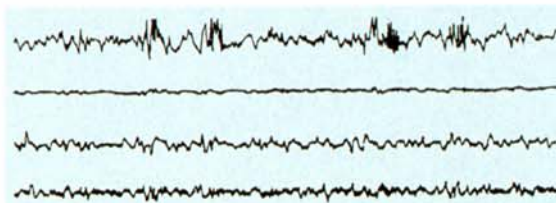
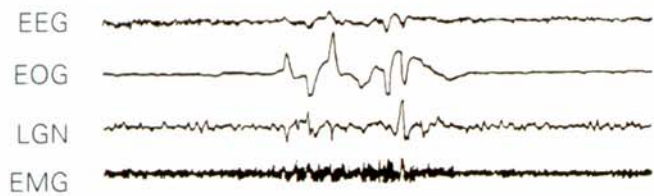
- Nicht-REM-Schlaf (Non-Rapid Eye Movements) ist erste Schlafphase
- neuronale Aktivität ist niedrig, EEG charakteristisch verändert, Hirntemperatur und allg. Stoffwechselrate minimal
- Parasympathikus dominiert: Herzfrequenz↓, RR↓, Pupillen eng
- umfasst vier charakteristische Stadien:
  - Stadium 1: Übergang Wach-Schlaf-Zustand, EEG: 10 Hz, 20-40 $\mu$ V, danach breites Frequenz-Spektrum, langsame Augenbewegungen
  - Stadium 2: EEG mit „Schlafspindeln“ (12-14 Hz) und biphasischen, großamplitudigen Potentialen: K-Komplexe
  - Stadium 3: langsame Delta-Potentiale (0,5 Hz) großer Amplitude
  - Stadium 4: noch mehr langsame Potentiale



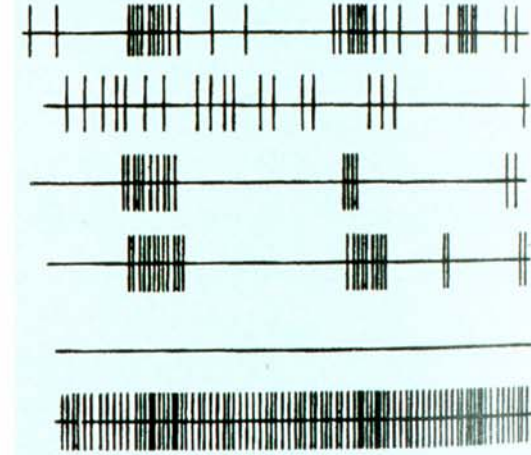
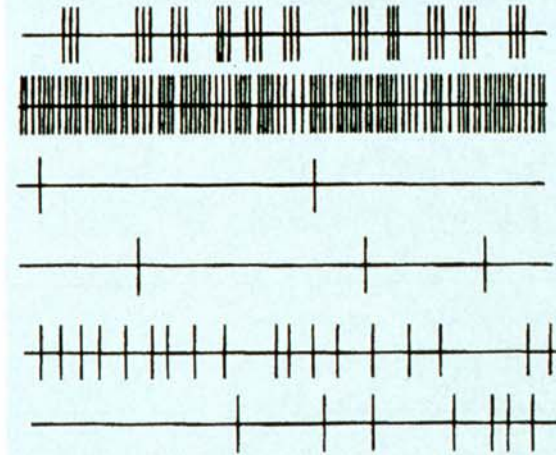
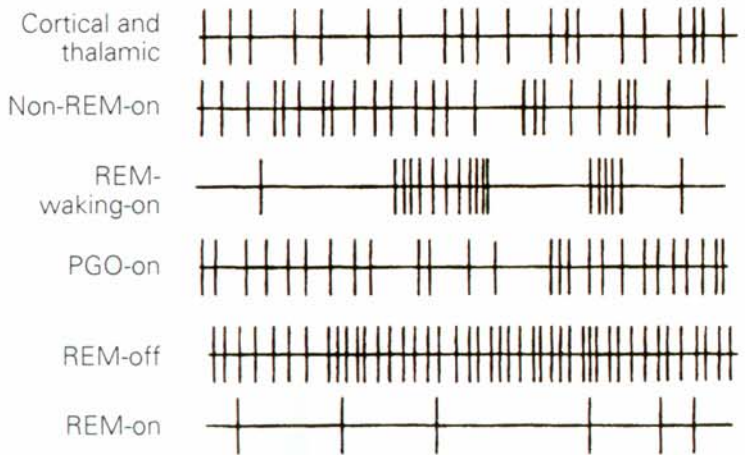
Waking

Slow wave sleep

REM sleep



10 s

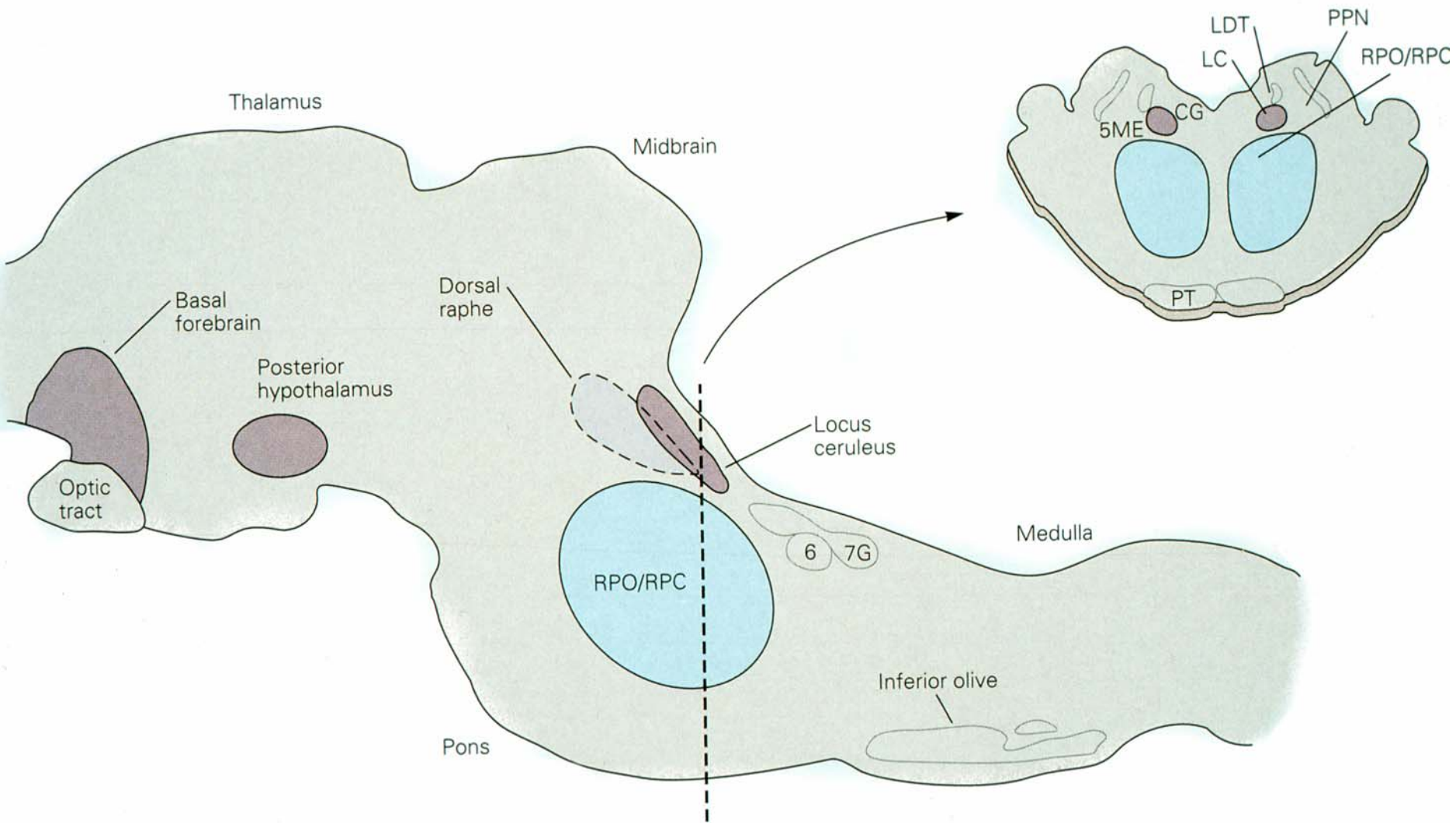


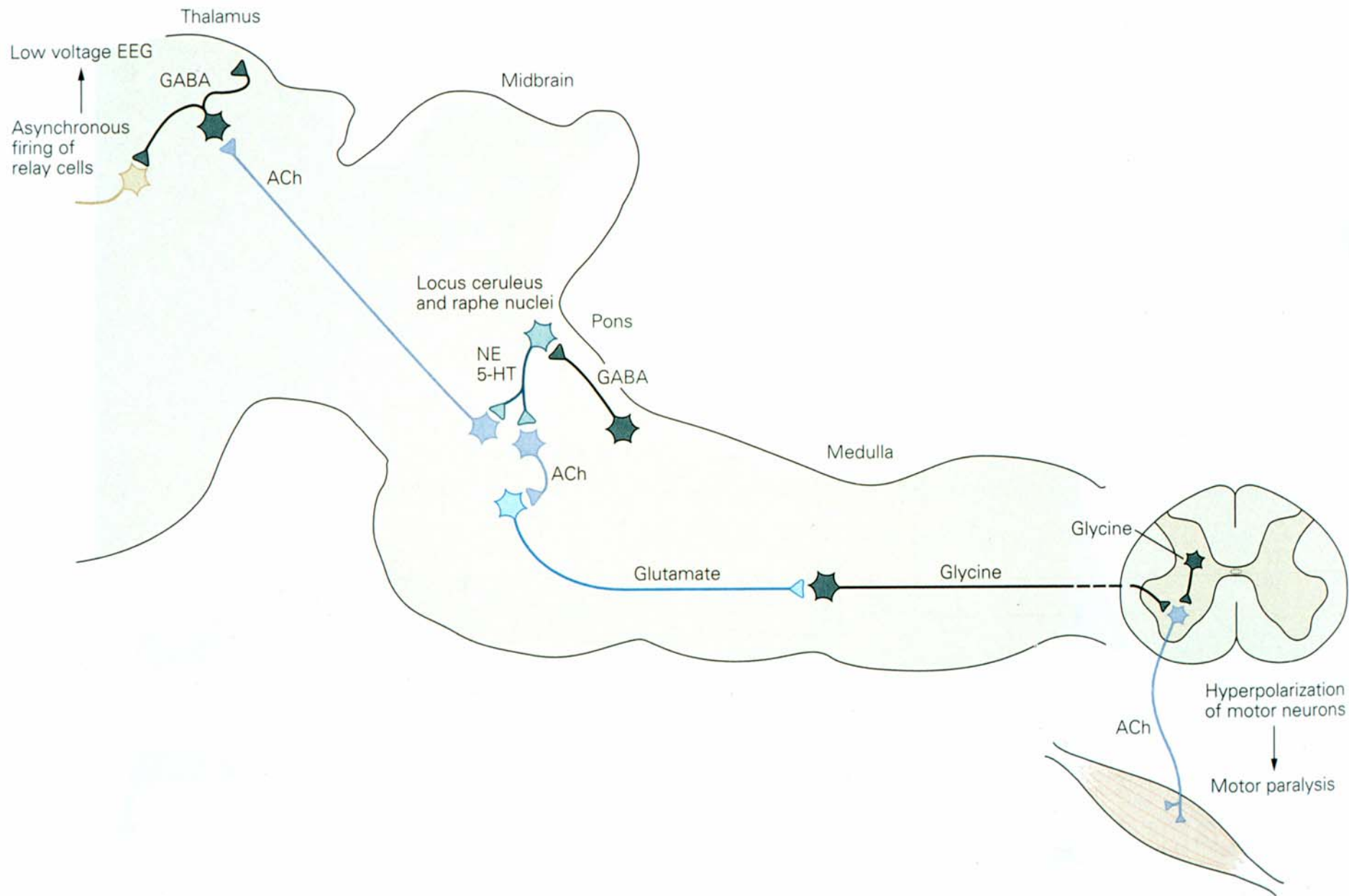
# REM-Schlaf

- ist ‚aktive‘ Form des Schlafes
- EEG ist ähnlich zu Stadium 1 des nicht-REM-Schlafes
- bei manchen Tieren EEG wie im Wachzustand („paradoxe“ Schlaf)
- intermittierende, intensive Entladungen: „Ponto-geniculo-occipitale Spikes“ (PGO-Spikes), ähnlich Reaktion auf „startle“-Schreck-Reiz
- Anstieg von Hirntemperatur und allg. Stoffwechselaktivität, u. U. über das Wach-Niveau hinaus
- Atonie der gesamten Skelett-Muskulatur (außer Zwerchfell / äußere Augenmuskeln / Mittelohrmuskeln)
- Blutzufluss zu primären Geschlechtsorganen erhöht
- Verminderung der homöostatischen Regulation (Temperatur, CO<sub>2</sub>-Niveau)
- Aufwecken leichter als aus Stadien 3 und 4

# Verteilung der Schlafstadien

- zu Beginn Stadium 1 bis Stadium 4 des Nicht-REM-Schlafes
- nach ca. 70 - 80 Minuten über Phase 3 und 2 in erste REM-Phase (Dauer ca. 5-10 Minuten)
- insgesamt ca. 4-6 Mal pro Nacht Durchlaufen eines ca. 90-110 Minuten langen Zyklus von REM- und Nicht-REM-Schlaf
- dabei Abnahme der Dauer von Stadium 3 und 4, Zunahme der Dauer von REM
- Schlafdauer: Neugeborene: 17-18h/Tag; Vierjährige: 10-12h; 20-jährige: 7-8,5h;
- junge Erwachsene verbringen 50-60 % des Schlafes in Stadium 2, 20-25 % in REM, 15-20 % in Stadien 3 und 4, und 5 % in Stadium 1; Ältere weit weniger in Stadien 3 und 4, nur 15% in REM; Neugeborene 50% in REM





# Schlaf: Neuronale Mechanismen

- Formatio reticularis des Mittelhirns ist wichtig für Wachzustand (Koma bei Läsion), wird durch FR der Medulla gehemmt
- hinterer Hypothalamus ist über histaminerge Neuronen mit Hirnstamm und Frontalhirn verbunden, Stimulation führt zu ‚Arousal‘. Läsion oder Antihistaminika führen zu Schlafzunahme
- vorderer Hypothalamus und benachbartes Frontalhirn induzieren Schlaf, vermutlich über GABA-erge Synapsen; bei Läsionen Schlaflosigkeit; bei Hitze Aktivierung der GABA-Neurone

# Schlaf-Schaltkreise: Nicht-REM

- rhythmische Aktivität von GABA-ergen Neuronen im Nucleus reticularis (liegt um den Thalamus herum), beeinflusst Thalamus
- Rhythmus wird erzeugt durch Öffnen von  $\text{Ca}^{++}$ -Kanälen *nur* im hyperpolarisierten Zustand -> Depolarisation -> Kanalschluss -> Hyperpolarisation
- rhythmische Entladung thalamischer Neurone erzeugt EEG-Spindeln und langsame Potentiale während *Nicht-REM*-Schlaf durch synaptische Aktivität im Cortex
- durch rhythmische Thalamus-Aktivierung Maskierung sensorischer Aktivität im Thalamus



# Schlaf-Schaltkreise: REM

- REM-Schlaf wird überwiegend durch Kerngebiete am Übergang von Mittelhirn und Brücke reguliert
- Acetylcholin und andere Transmitter aus Zellen des ‚Aufweck‘ (Arousal)-Systems in Mittelhirn / Brücke sind maximal aktiv während Wachzustand und REM, sie depolarisieren die GABA-Neurone im Nucleus reticularis, verhindern dadurch den  $\text{Ca}^{++}$ -Einstrom -> kein Rhythmus -> keine Spindeln
- beidseitige Zerstörung des Nucleus reticularis pontis oralis (Pons & Mittelhirn) eliminiert REM-Schlaf für längere Periode. Kern enthält:
  - cholinerge PGO-on Neurone: erzeugen PGO *Spikes* im Corp. Genicul. Lat., werden gehemmt durch REM-off Neurone des Hirnstamms (Raphe-Kerne)
  - REM-Wachheit-on Neurone: aktiv während Wachzustand und REM Schlaf
  - REM-on Zellen: Eliminieren Muskeltonus durch Inhibition in Pons und Medulla. Bei Läsion Bewegungen während REM; Überaktivität: Kataplexie

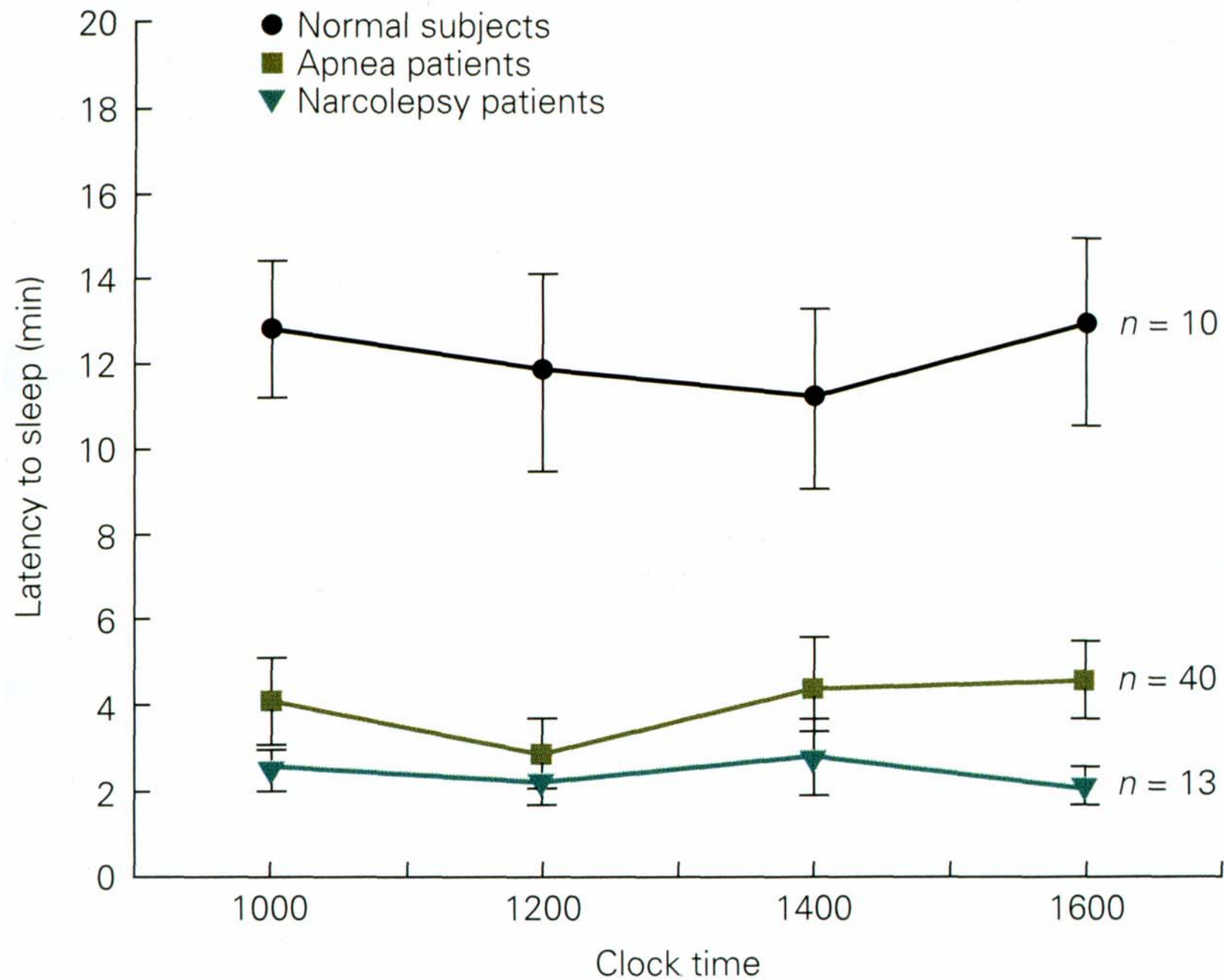


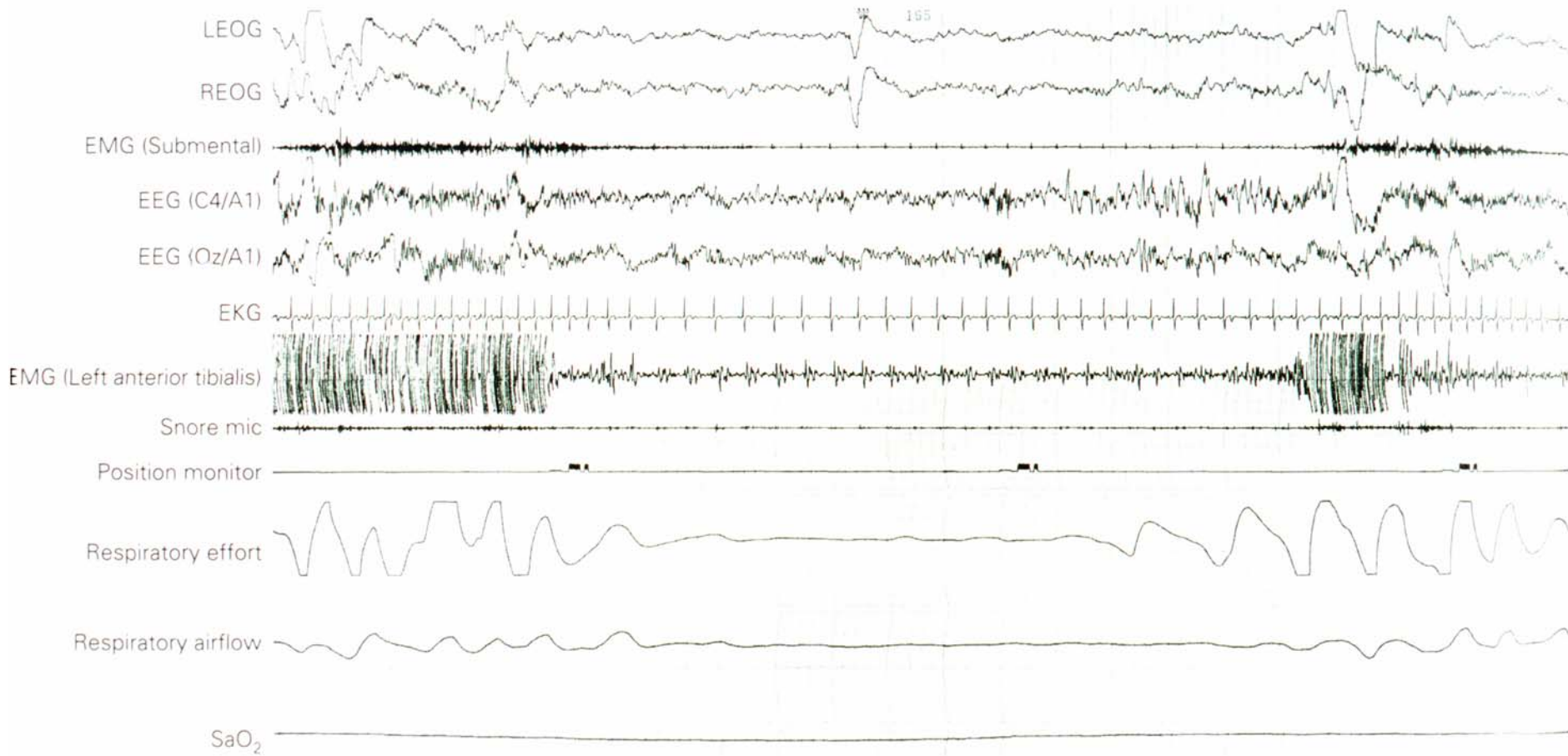
# Schlaf und Traum

- Alle Säugetiere schlafen (5-18h/Tag), kleine i.d.Regel am längsten. REM- Anteil 10-25%, unreife länger. Bei Meerestieren oft nur 1 Hemisphäre REM
- Vögel haben REM Perioden im Sekundenbereich, ohne Atonie
- Ratten sterben nach 2-3 Wochen Schlafentzug, nach 4-6 Wochen REM-Entzug
- schlafdeprivierte Ratten verdoppeln Stoffwechsel trotz Körpertemperaturabfall
- Schlaf reduziert Energieverbrauch um 15% im Vergleich zu Ruhe, ist erholsamer
- Menschen zeigen nach Schlafentzug (fast) ausschließlich kognitive Einbußen, REM Phasen nicht unerlässlich
- Träume werden bei Aufwecken aus REM Schlaf häufiger erinnert (74%) als aus nicht-REM Schlaf (<10%-70%!), aber REM *nicht* erforderlich für Träume
- Nicht-REM Träume sind kürzer, logischer, weniger lebhaft als REM-Träume
- Kinder unter 6-9 Jahren haben REM- Schlaf, aber berichten keine thematisch organisierten Träume

# Traum

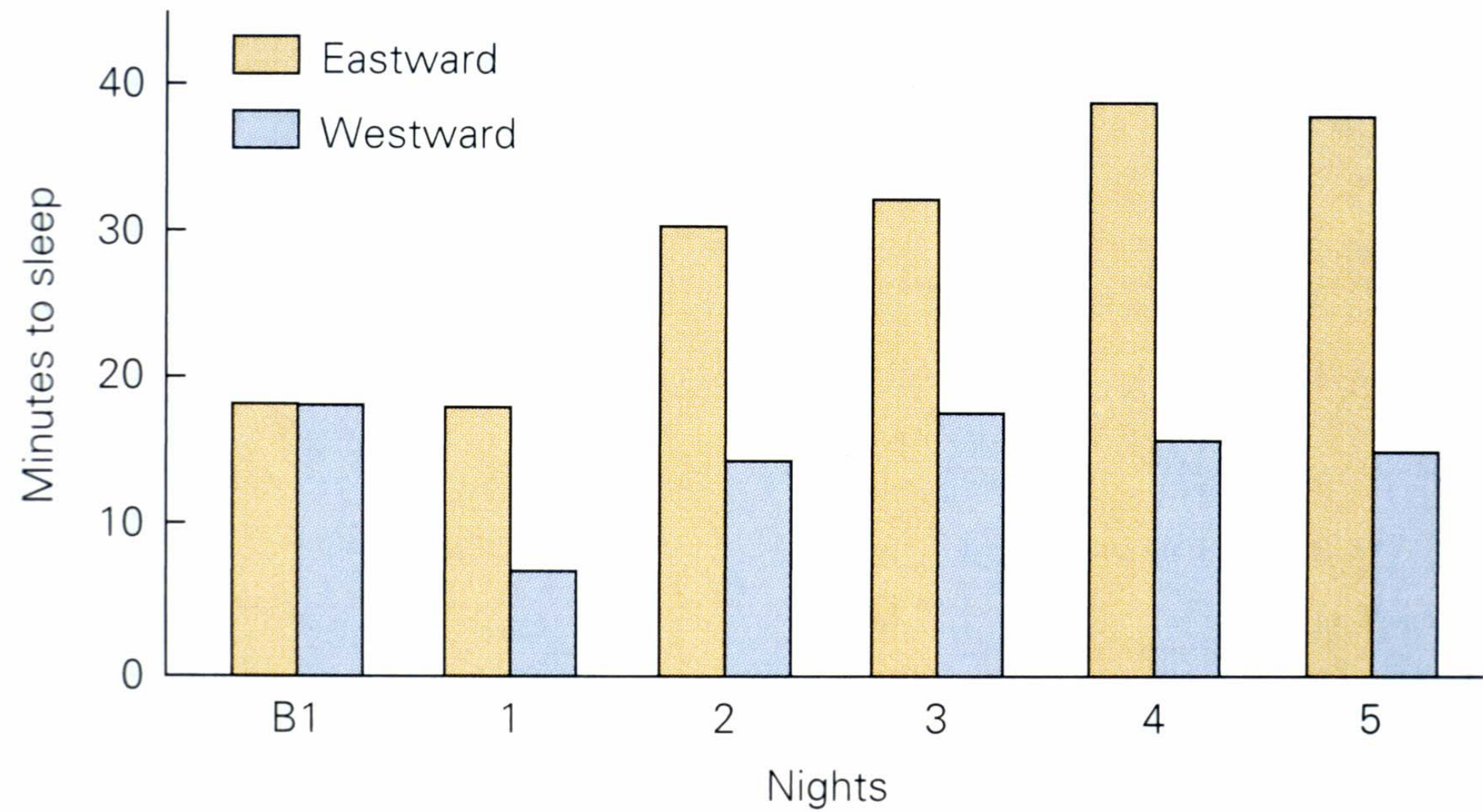
- Der Trauminhalt wird *nicht* wesentlich bestimmt durch während des Schlafes dargebotene Sinnesreize (incl. visuelle Reize)
- Durst führt *nicht* regelmäßig zu Träumen über Getränke (30%)
- 80-95% der REM Phasen führen zu Erektionen, aber nur 12% der Träume haben sexuellen Charakter
- Filme gewalttätigen oder sexuellen Charakters führen nicht zu den entsprechenden Träumen
- Träume sind thematisch organisiert innerhalb einer REM-Periode
- keine „Fortsetzungsgeschichten“ in aufeinanderfolgenden REM Perioden
- Träume sind gegen Morgen meist länger und aufregender
- die meisten Träume (80%) scheinen farbig zu sein, nur Minderheit s/w





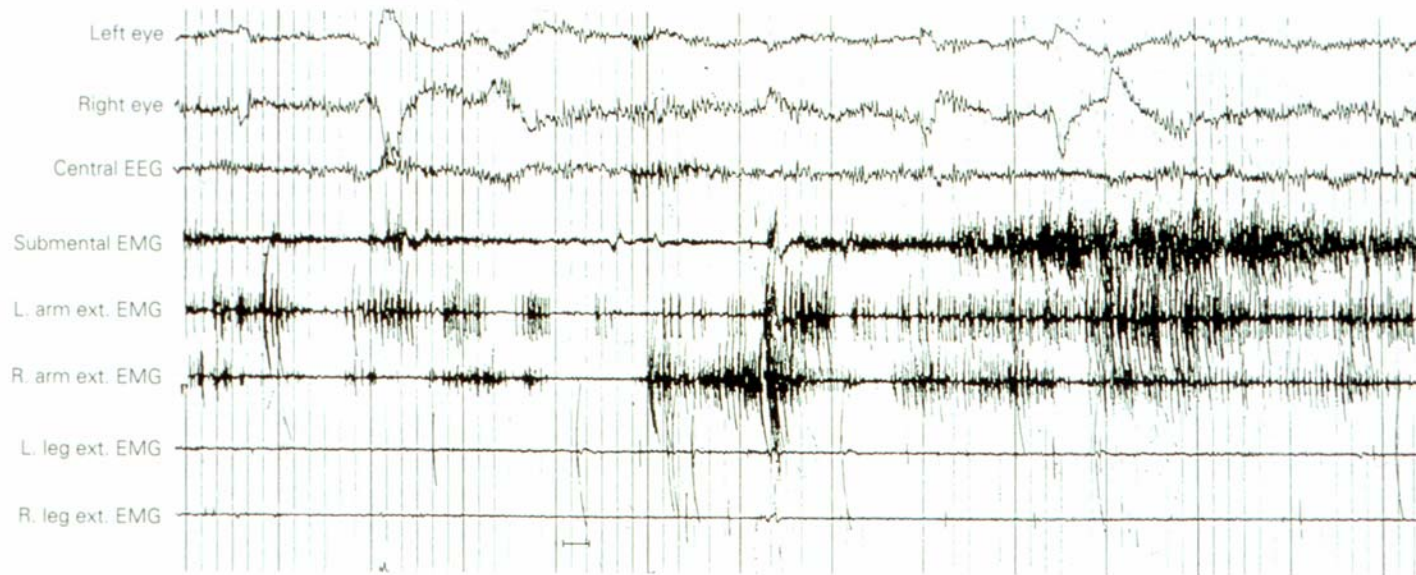
# Schlafstörungen

- ca. 15% der Bevölkerung leiden unter Schlafstörungen, nur 2% unter übergroßer Schläfrigkeit (stellen aber 50% der Patienten)
- frühes Erwachen typisch für Depressive, Schlafentzug hilft oft
- Übergroße Schläfrigkeit
  - oft bei Narkolepsie: kurze Schlafattacken am Tage, Tonusverlust (Paralyse)
  - extrem kurze Latenz für Schlafbeginn (2-3 Minuten tagsüber)
  - ca 90% der Patienten: Klasse II Antigen bei HLA-DR2 oder DQW1 auf Chro.
  - Behandlung mit z.B. Amphetaminen, Trizyklischen Antidepressiva
- Obstruktives Apnoe-Syndrom: Längere Atempausen während des Schlafs wegen Verlegung der entspannten oberen Atemwege (nach 50 L.J: 4% ♀ ; 9% ♂ )
  - subjektive Symptome: Schnarchen, Kopfschmerz, nicht erholsamer Schlaf
  - bis zu 600 Schlaf-Unterbrechungen/Nacht durch Sauerstoff-Mangel
- Chronisches Schlafdefizit Syndrom: Stressbedingte unzureichende Schlafperiode, evtl. Ausgleich am Wochenende
- Schlafstörungen durch Defekte der inneren Uhr

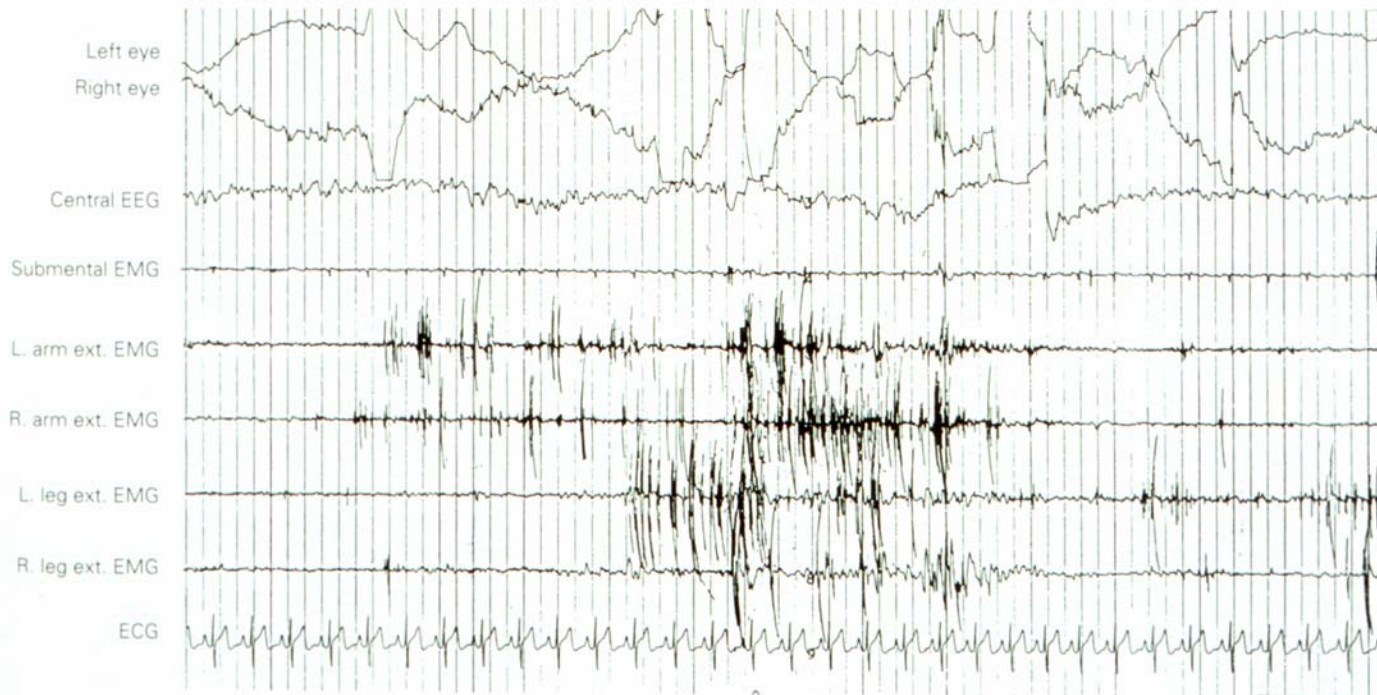




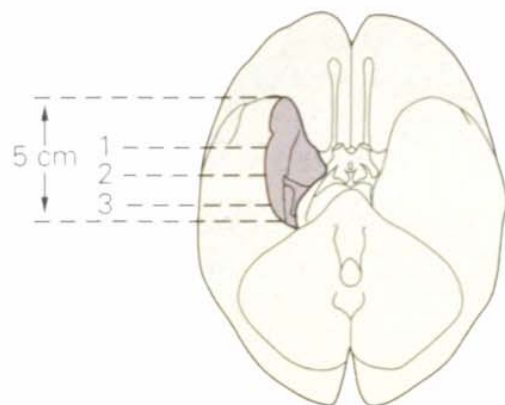
A



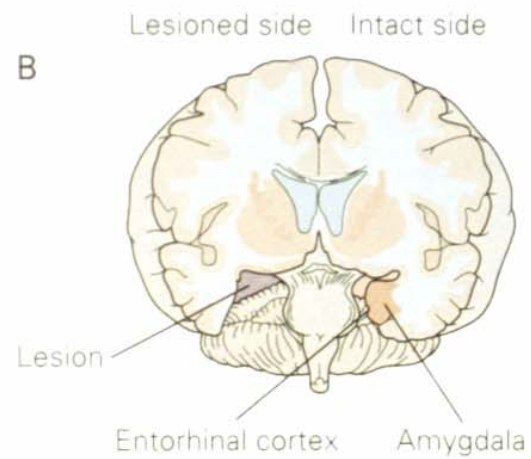
B



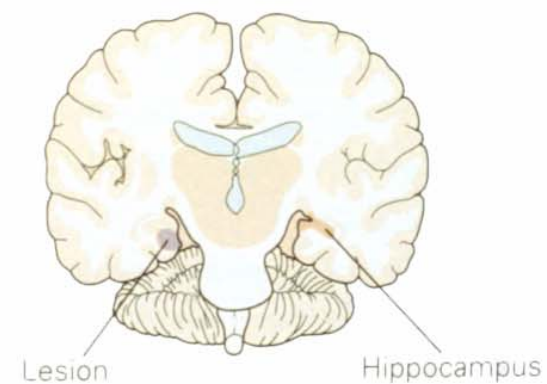
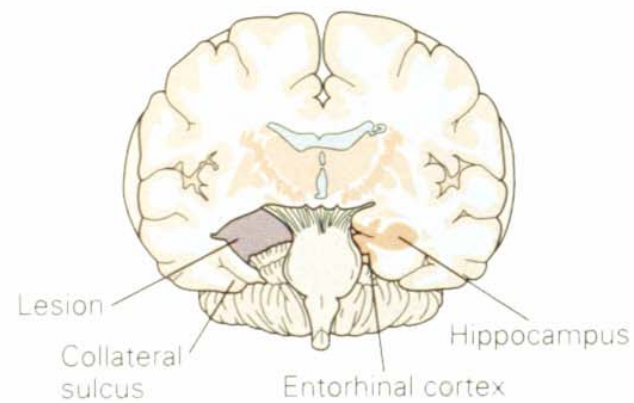
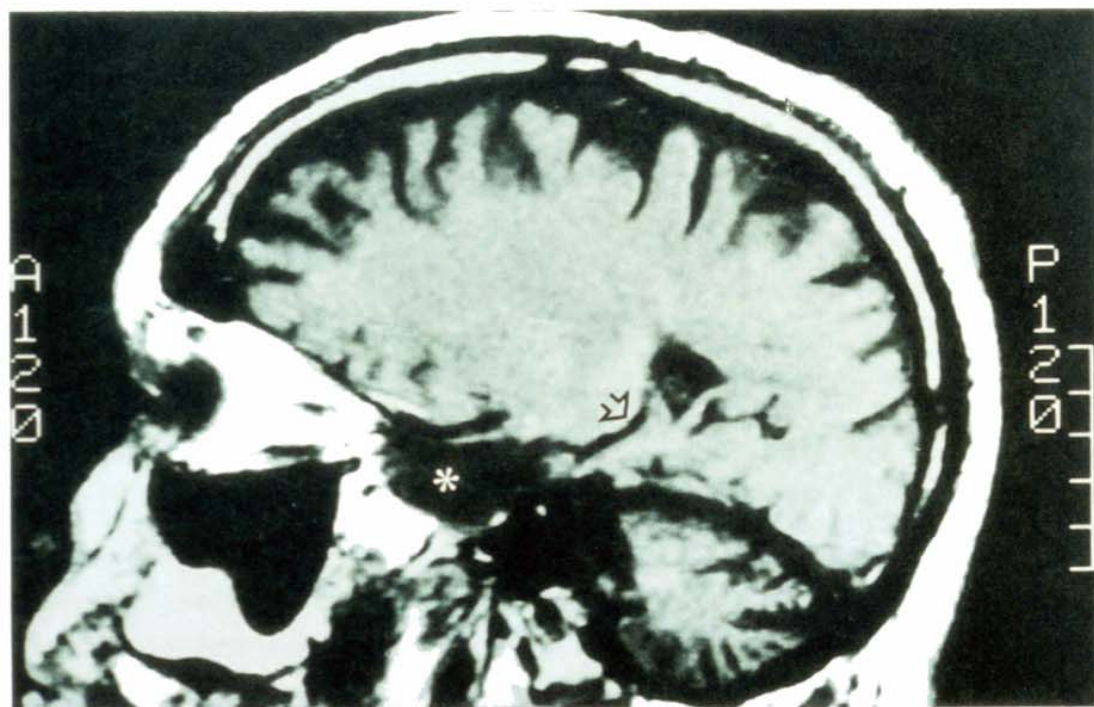
A



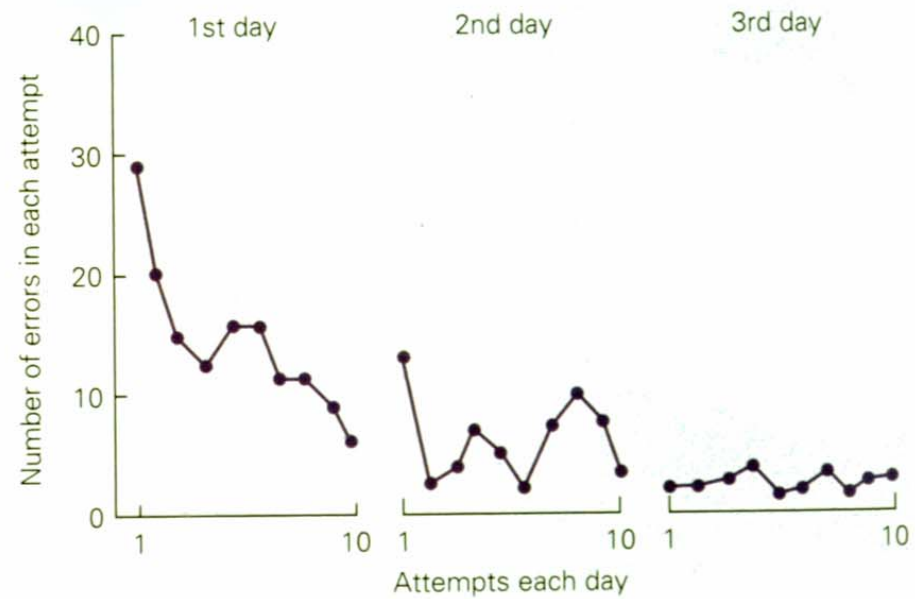
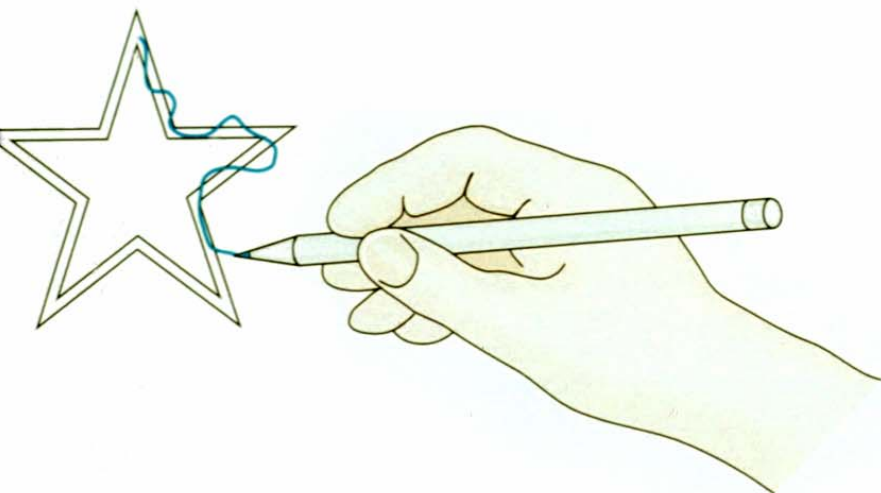
B

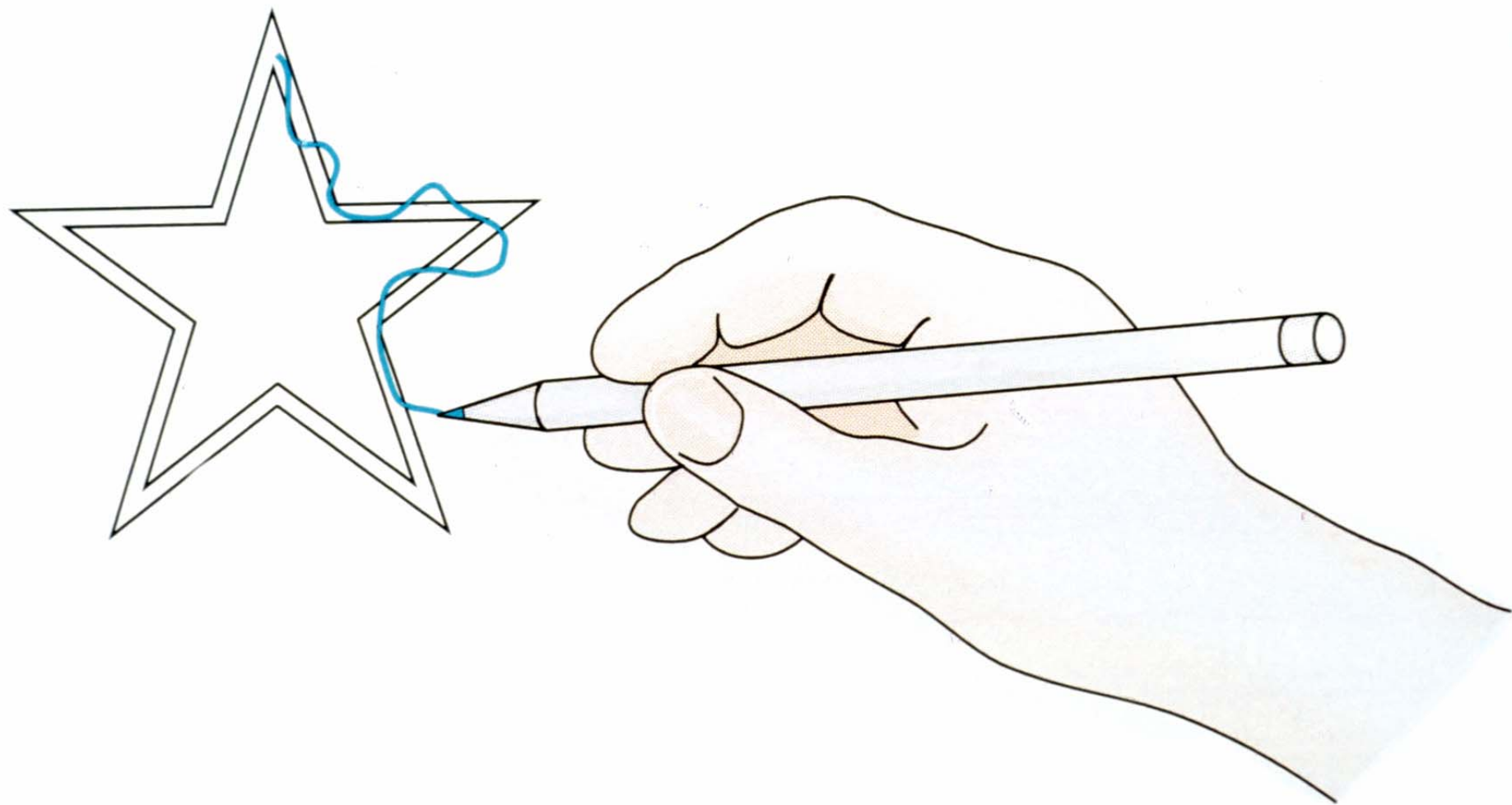


C







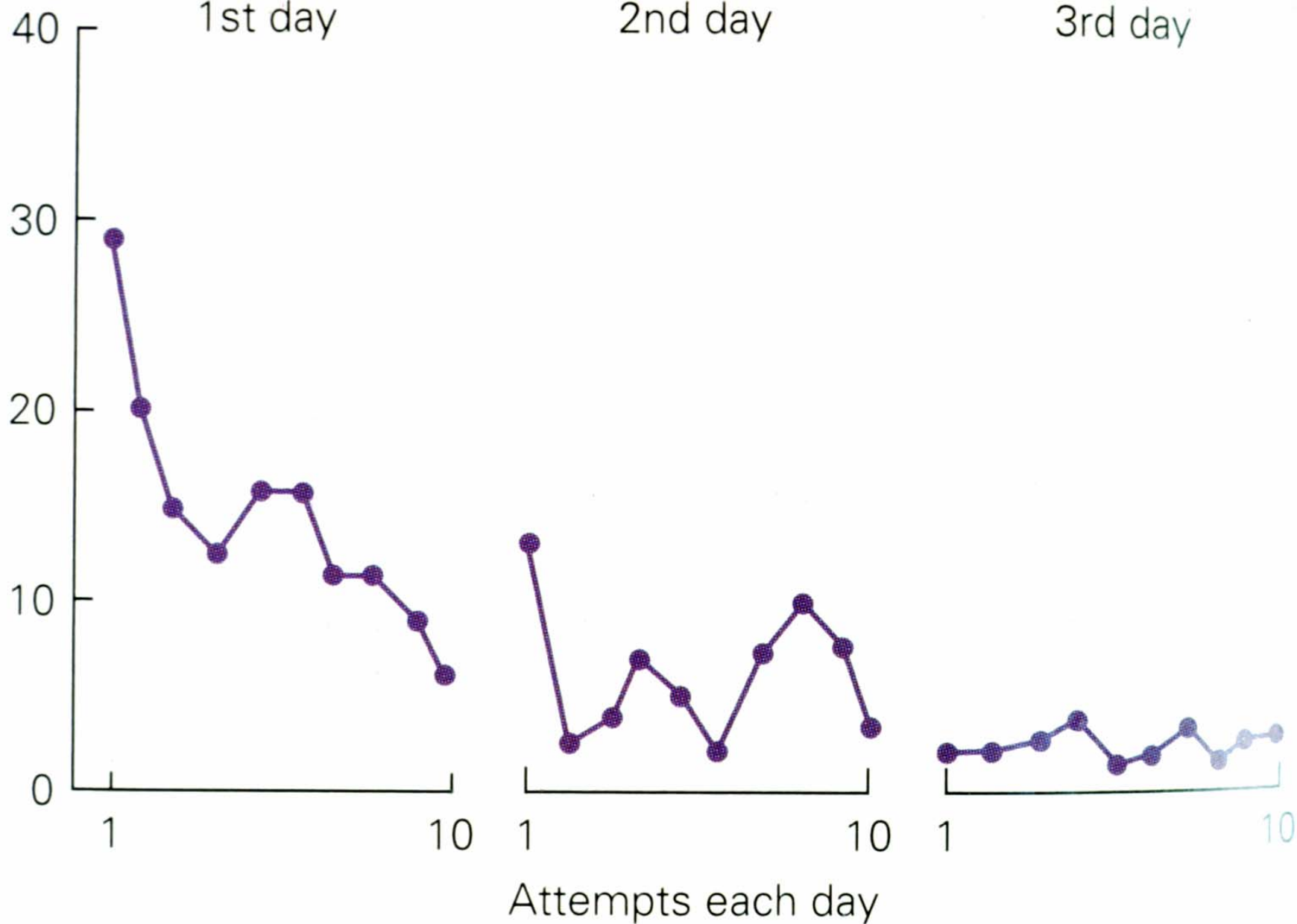


Number of errors in each attempt

1st day

2nd day

3rd day



# Lernen

- Lernen = Erwerb von Wissen über die Welt im weitesten Sinne und von Fähigkeiten (Gedächtnis bezeichnet das Wiederfinden dieses Wissens)
- H.M. verlor nach beidseitiger Entfernung von Hippocampus, Amygdala und Teilen des multimodalen temporalen Cortex das Langzeitgedächtnis für neue Ereignisse bei normalem Kurzzeitgedächtnis und intakter Intelligenz
- Insbesondere Hippocampus und angrenzender temporaler Cortex sind wichtig für Zwischenspeicherung; Endspeicherung in Assoziations-Cortizes
- Erlernen motorischer und sensorischer Fähigkeiten kann erhalten bleiben, ebenso „priming“
- d.h. implizites bzw. nicht-deklaratives Gedächtnis ist unabhängig von deklarativem (semantisch:Gedicht) und episodischem (letztes Weihnachten)
- auch Konditionierung, Habituation und Sensitivierung sind noch möglich trotz Ausfall des deklarativen Gedächtnisses

ABSENT

ABS \_\_\_\_\_

INCOME

INC \_\_\_\_\_

FILLY

FIL \_\_\_\_\_

DISCUSS

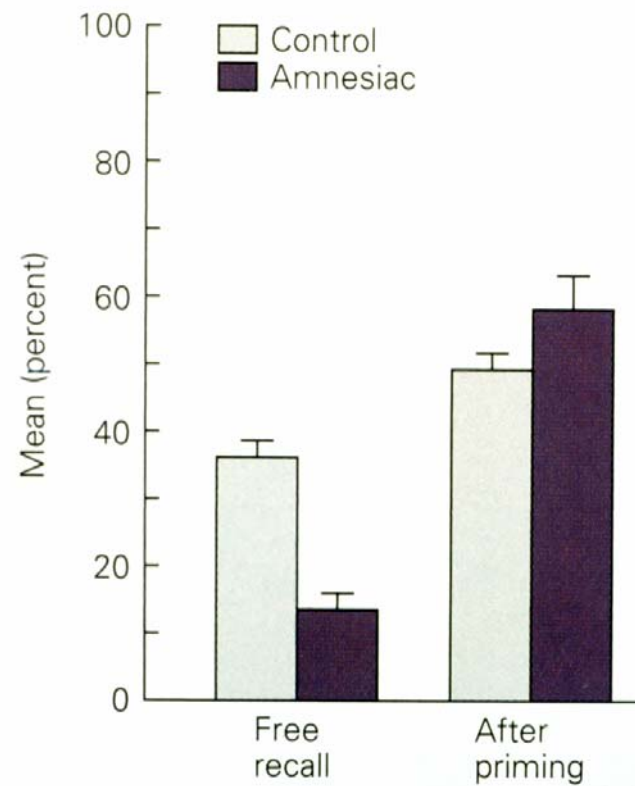
DIS \_\_\_\_\_

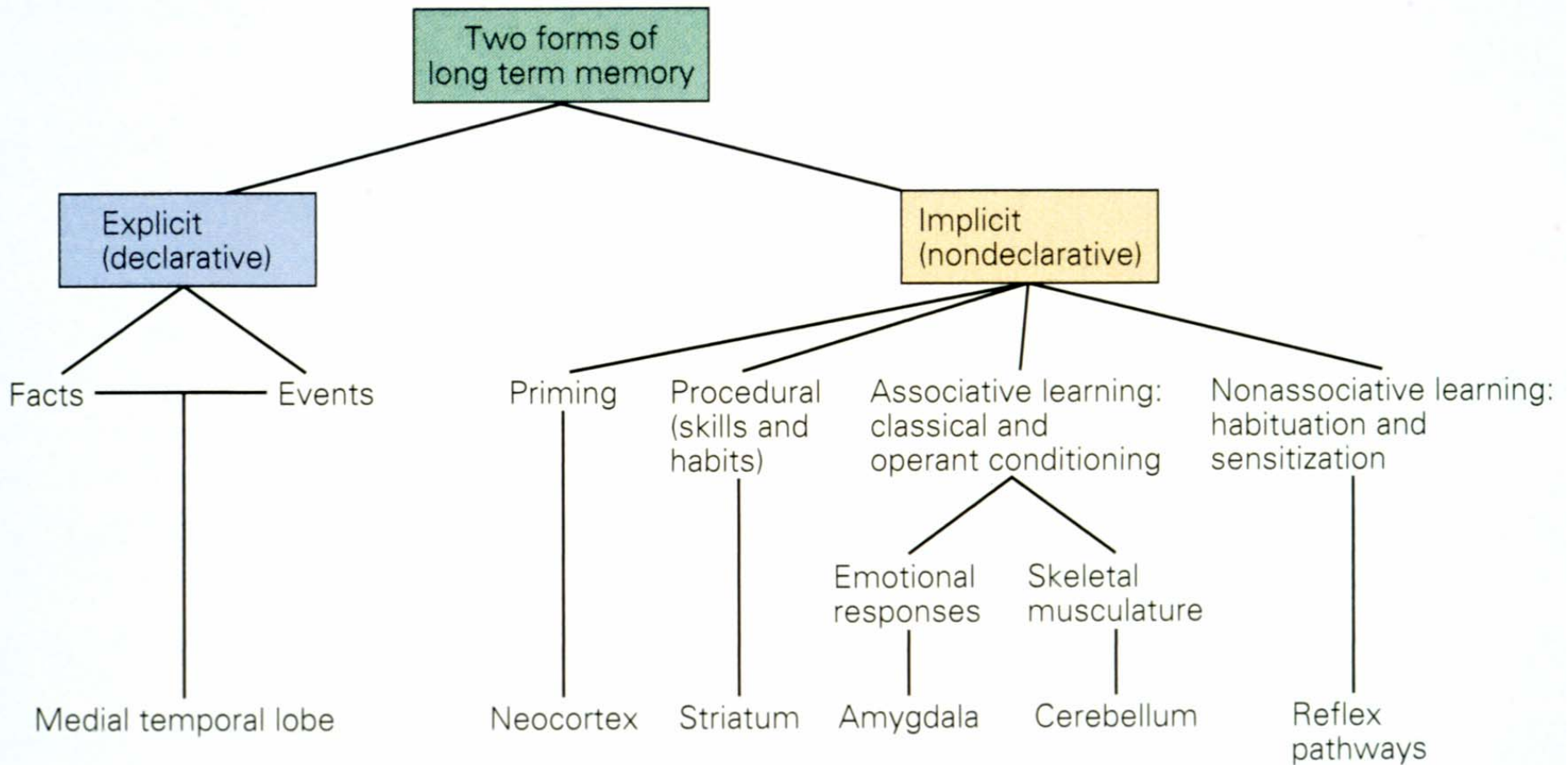
CHEESE

CHE \_\_\_\_\_

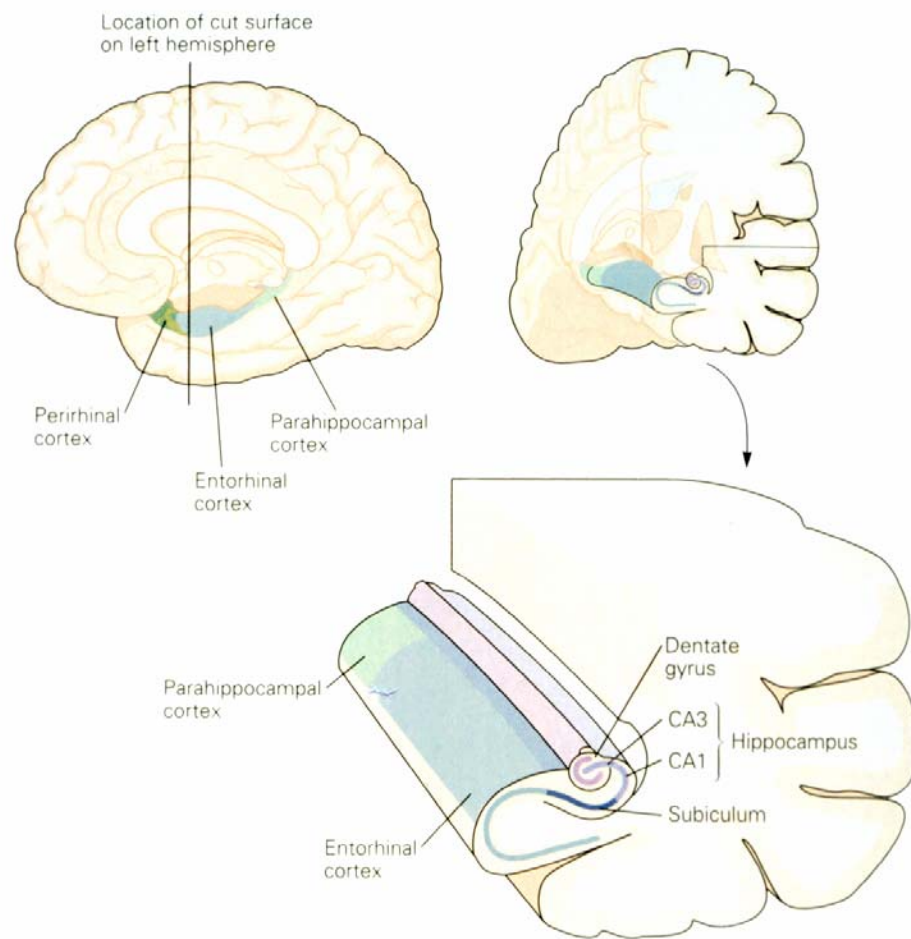
ELEMENT

ELE \_\_\_\_\_

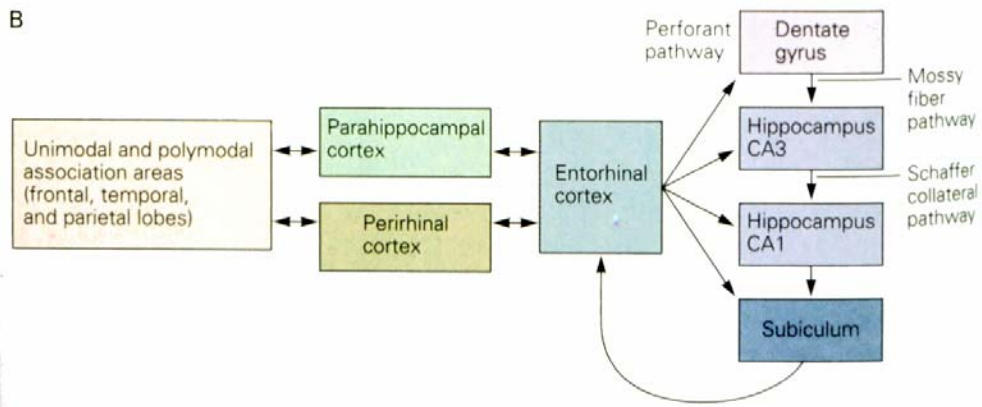




A

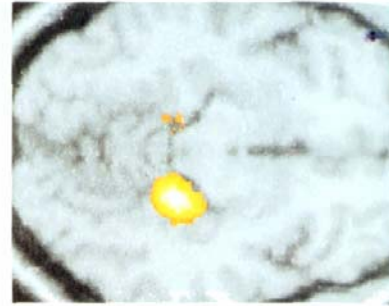
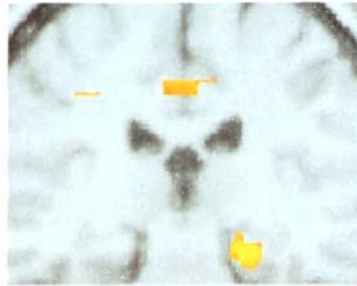


B

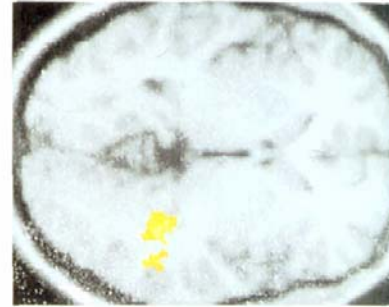
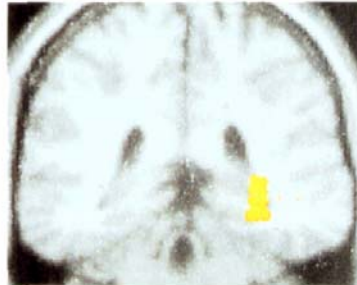




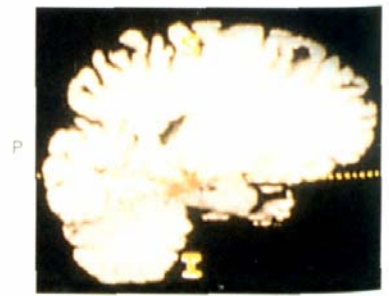
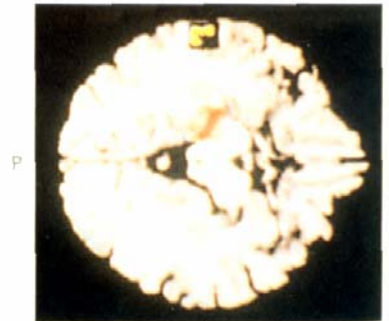
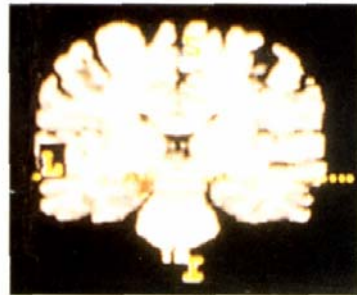
A Learning about surroundings (right hippocampus)



B Recall of taxi routes (right hippocampus)



C Word recall (left hippocampus)





















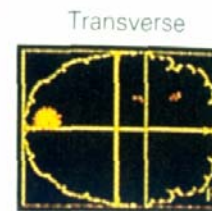
# Gedächtnis

- Semantische Information wird in cortikalen Neuronenverbänden gespeichert
- Episodisches (autobiographisches) Gedächtnis scheint den präfrontalen Cortex zu involvieren
- Bildung expliziten Wissens erfordert mindestens 4 Prozesse
  - Kodierung
  - Konsolidierung
  - Speicherung
  - Wiederfinden
- Arbeitsgedächtnis = Kurzzeitgedächtnis für explizites Wissen
  - „Zentrale Exekutive“ = Aufmerksamkeits- Kontroll- System
  - „innere Sprache“ („articulatory loop“)
  - Visuell-räumlicher Skizzenblock („visuospatial sketch pad“)
- Implizites Wissen ist in Neuronenschaltungen der motorischen, sensorischen, und emotionalen Teilbereiche verankert
- Implizites und explizites Wissen werden in mehreren Stadien gespeichert

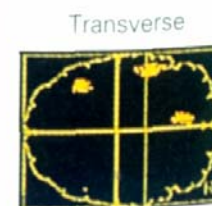
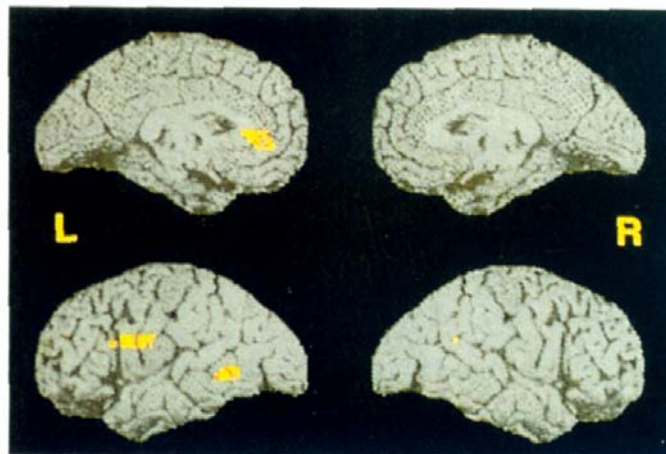


	Model drawing	Patient's drawing	Verbal identification of object
A Associative agnosia			—
			—
			—
			"Circle"
			"Square"
			"Diamond"
			"Three"
			"Four"

# A Animals — tools

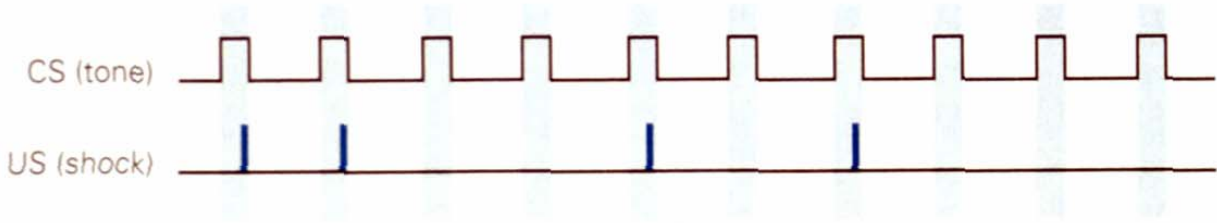


# B Tools — animals

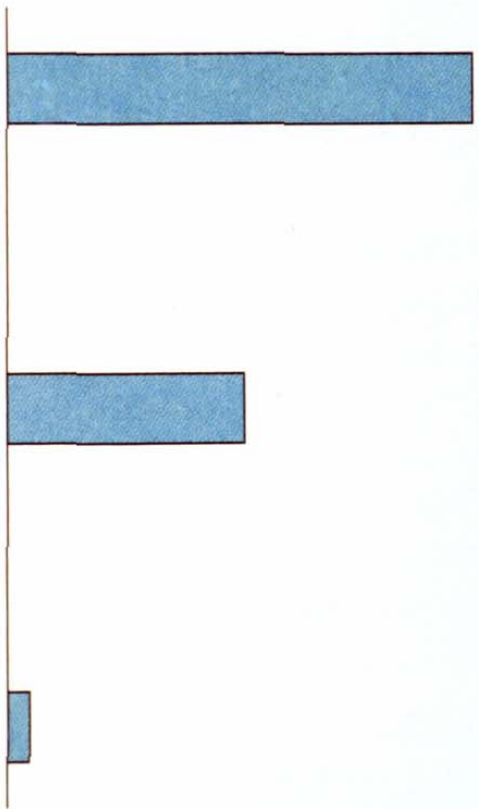


SPM projections

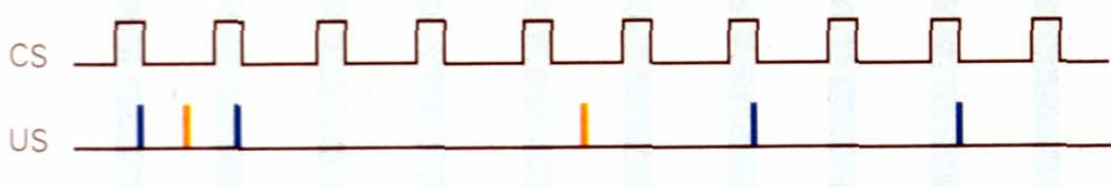
A 0% Unpaired shocks



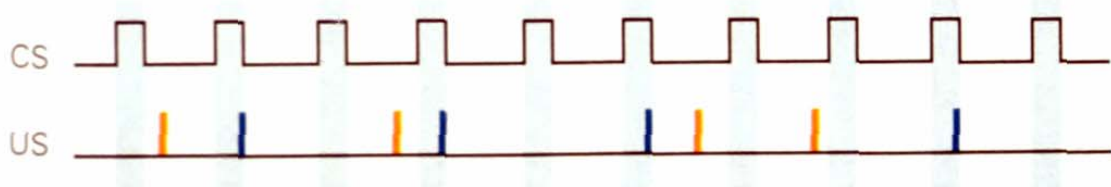
Strength of conditioning

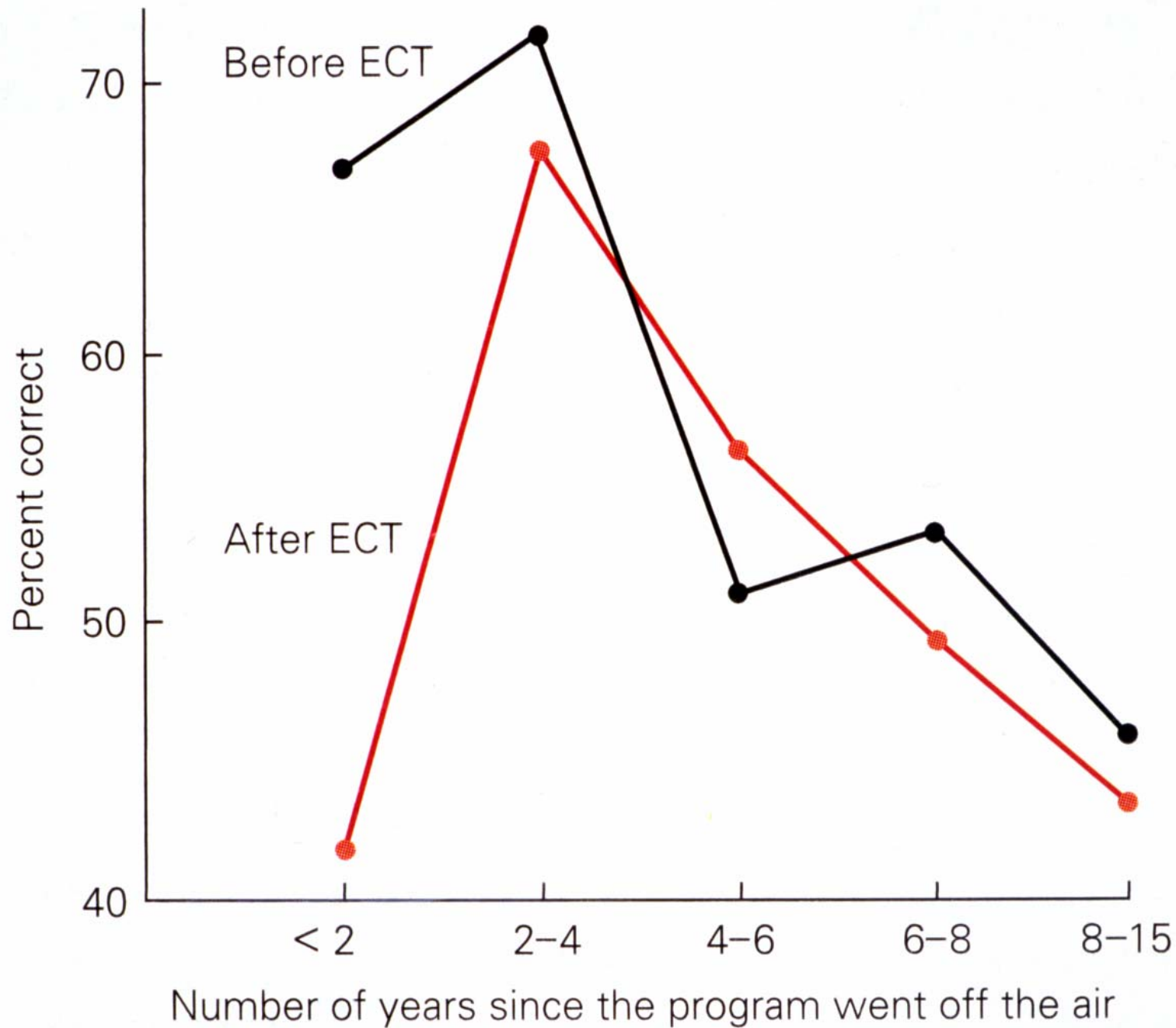


B 20% Unpaired shocks

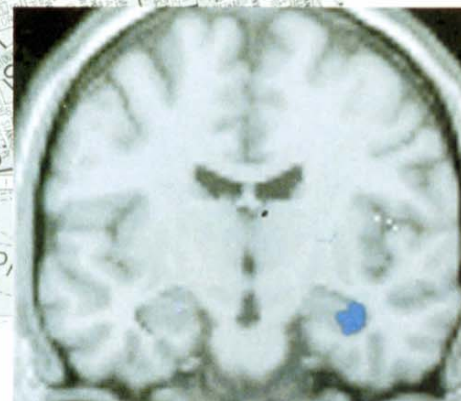
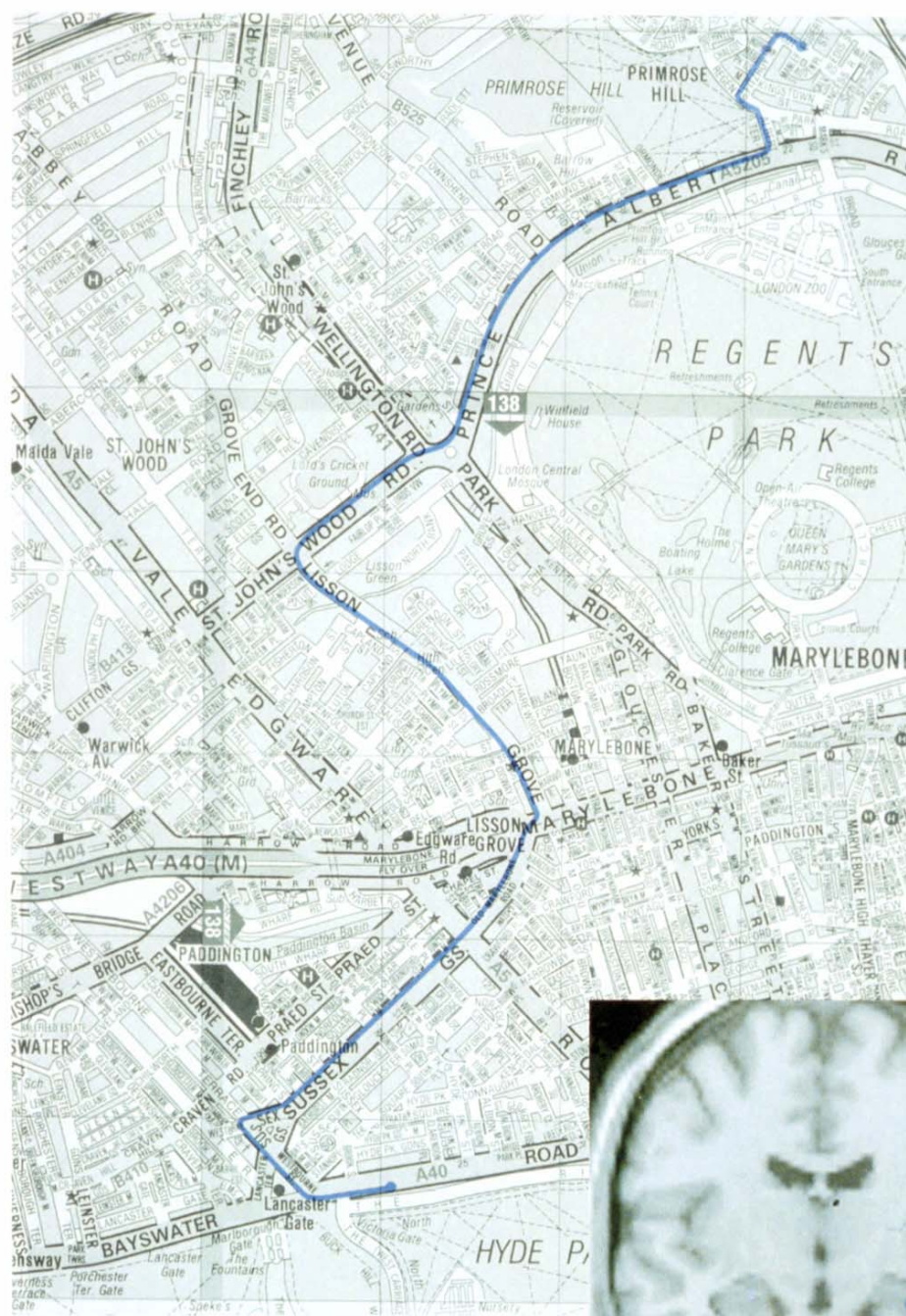


C 40% Unpaired shocks

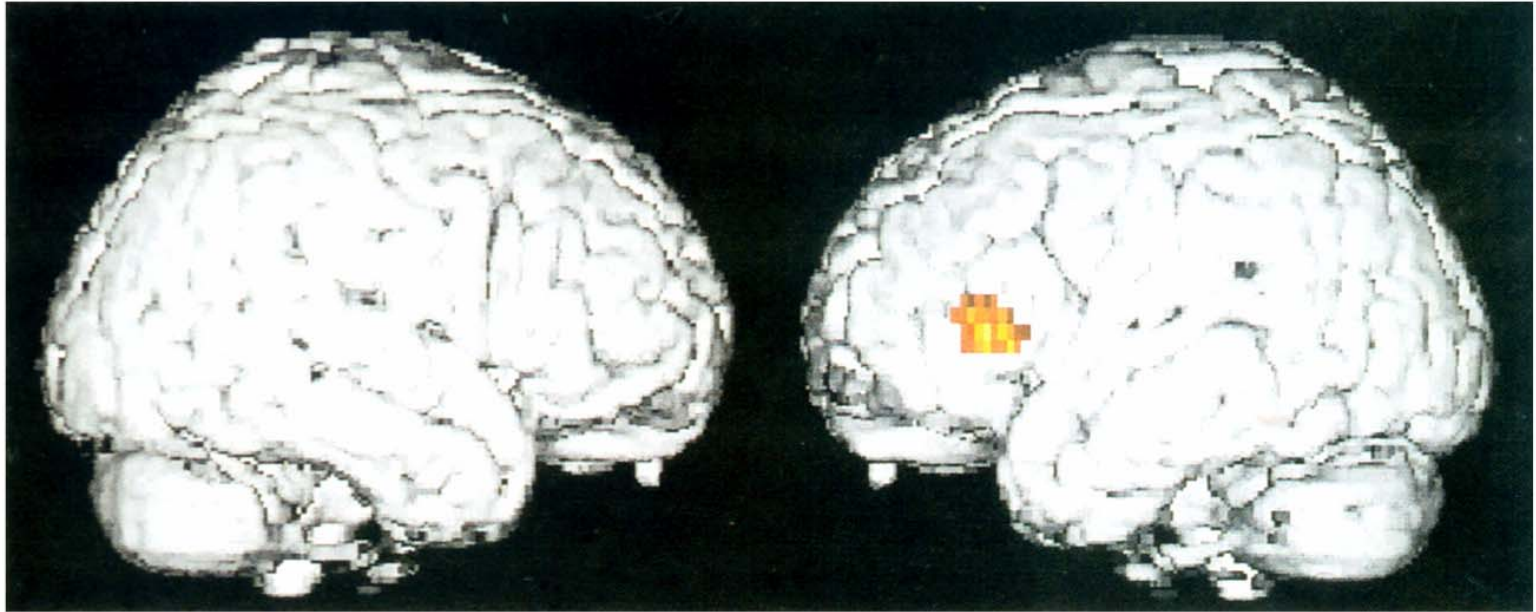




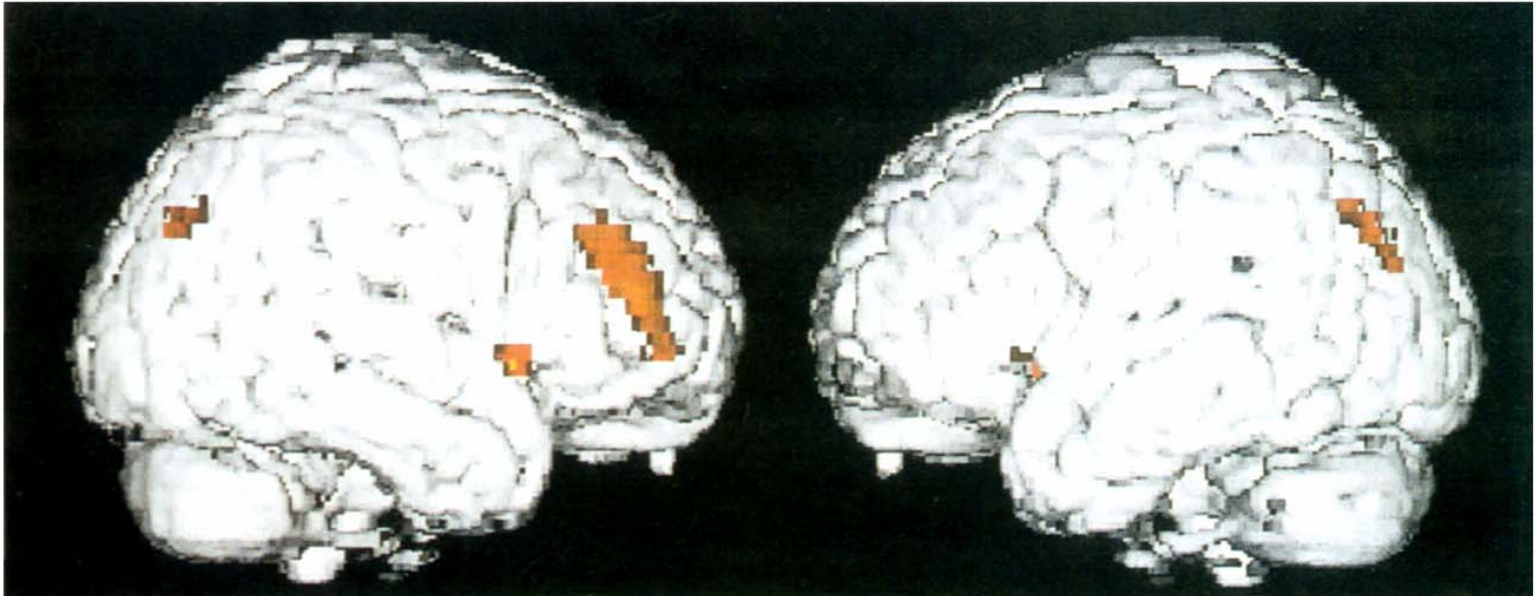




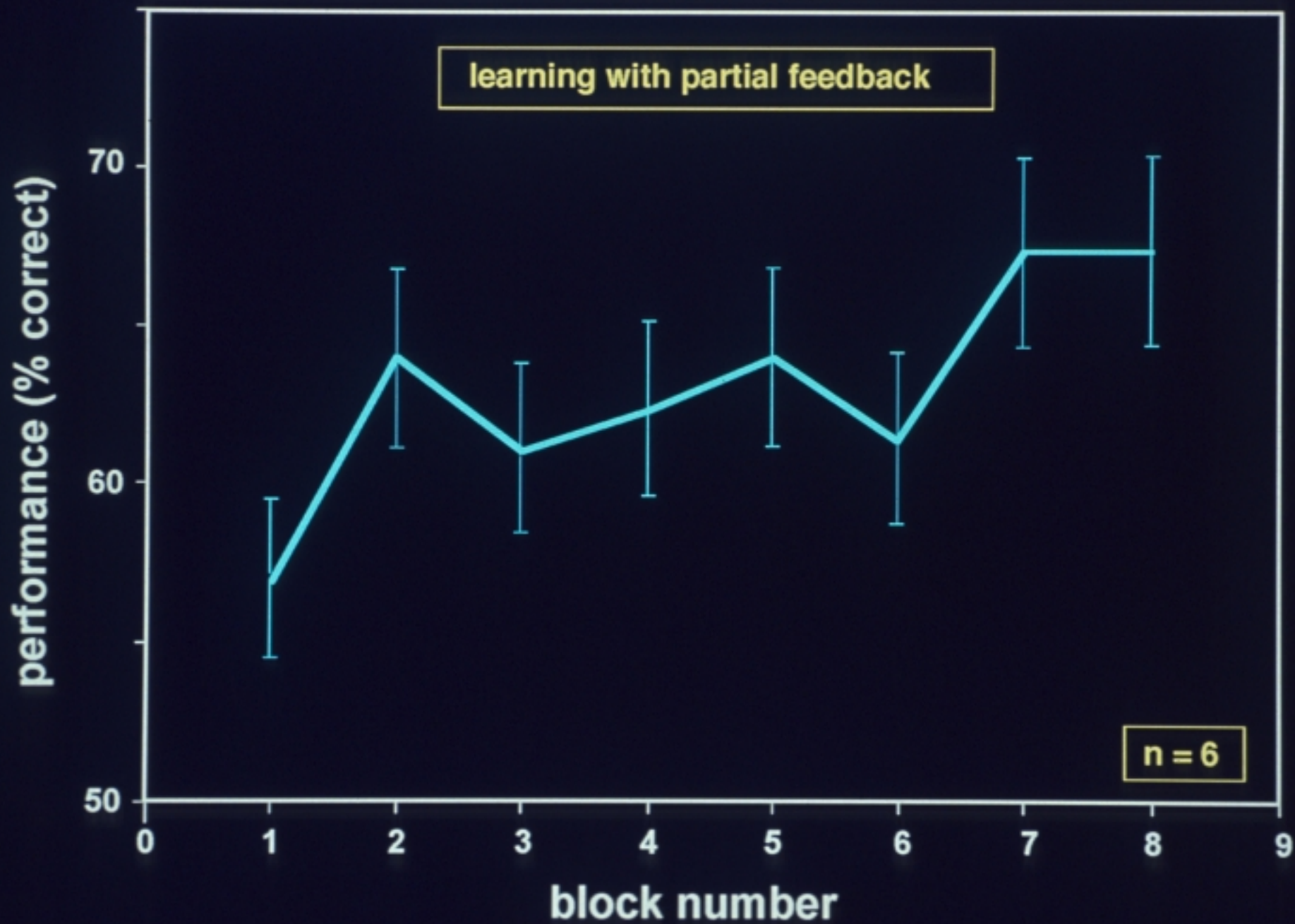
A Encoding memory



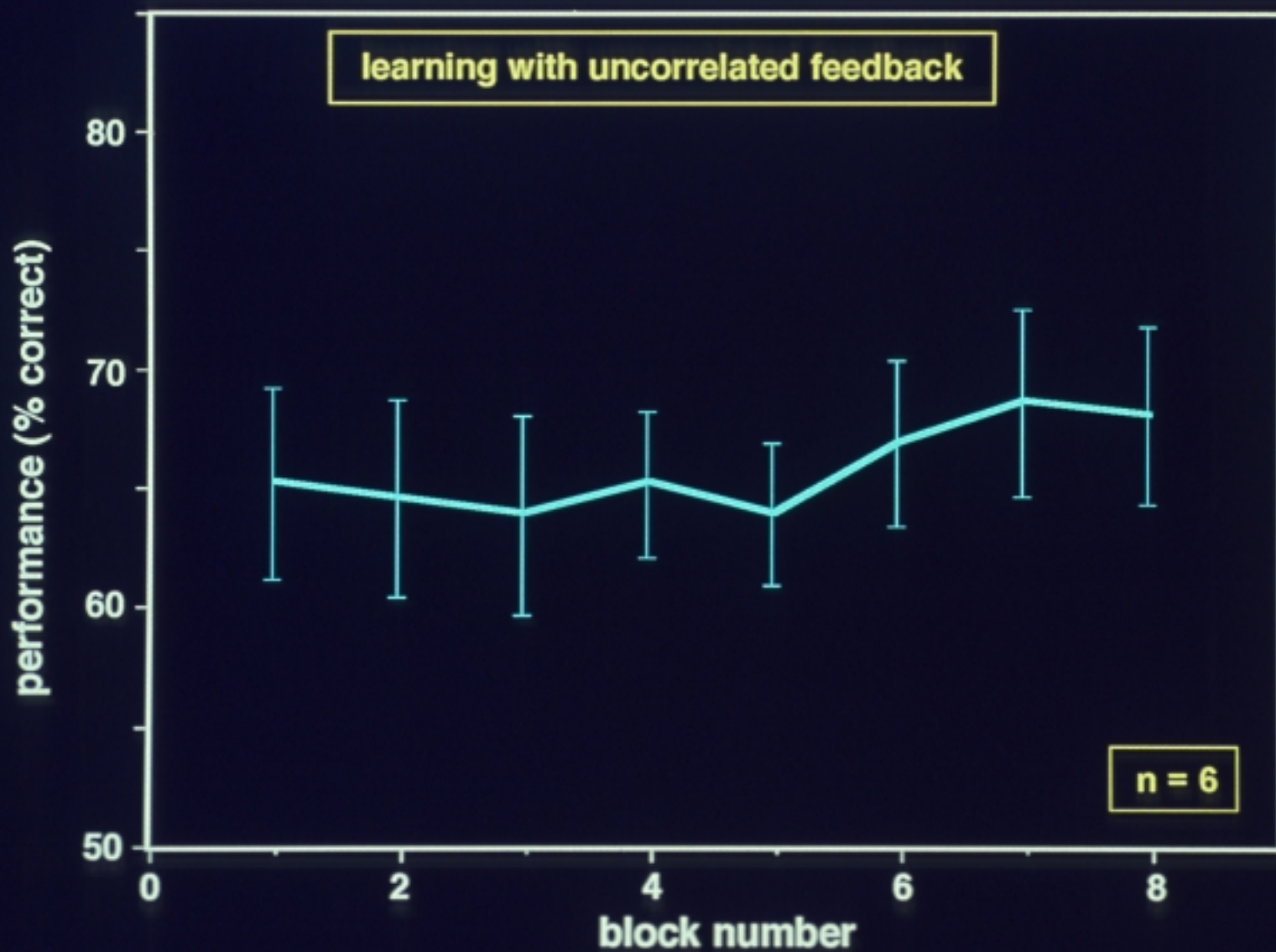
B Retrieving memory











An abstract painting featuring several faces, including a prominent one in the foreground, set against a background of vibrant, textured colors like red, orange, yellow, and blue, suggesting a forest or natural setting.

MANFRED FAHLE AND TOMASO POGGIO

# PERCEPTUAL LEARNING

MIT-Press,  
Cambridge,  
2002