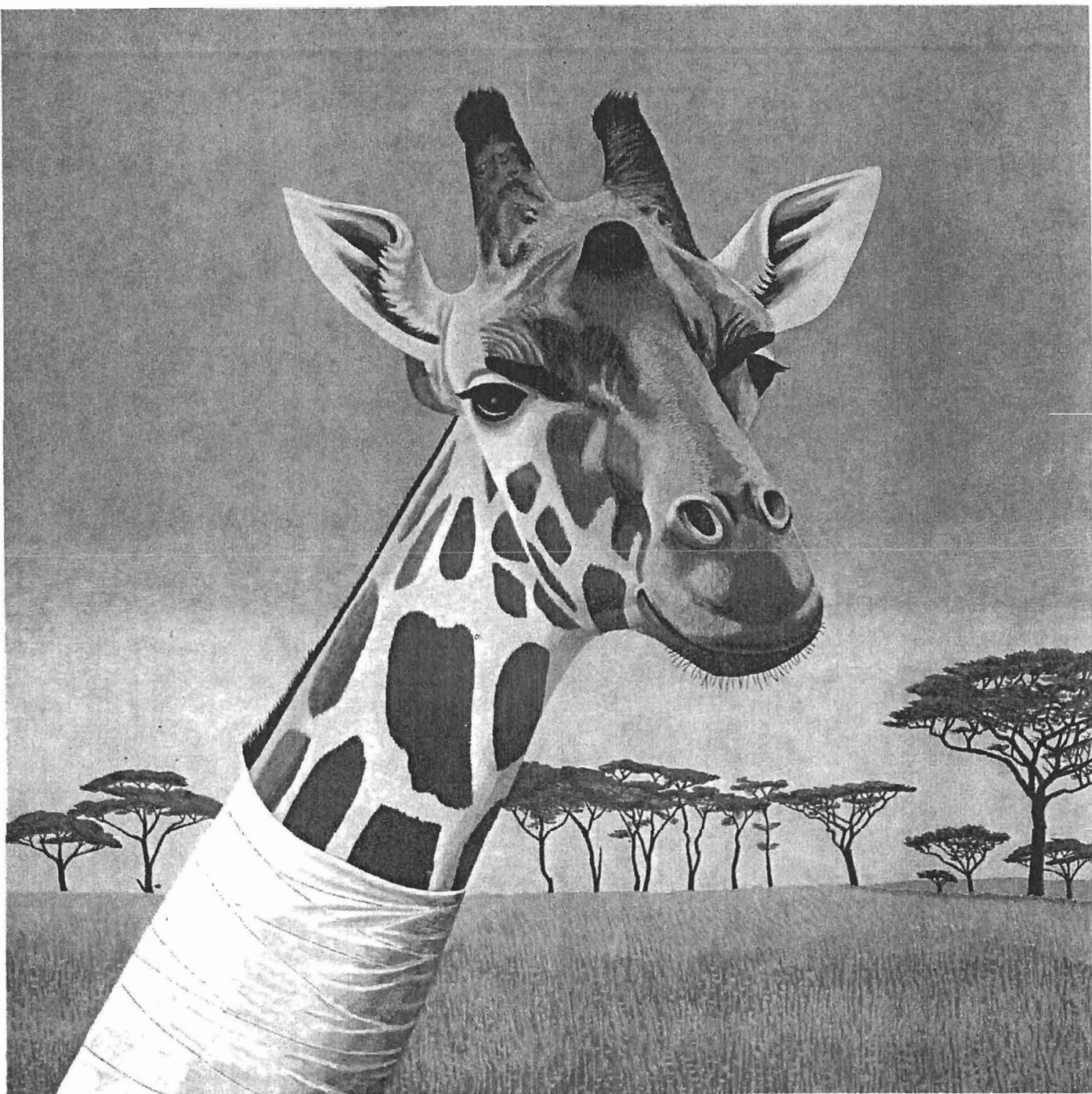


# LE SCIENZE

*edizione italiana di* **SCIENTIFIC  
AMERICAN**



*Lire Mille*  
*Febbraio 1975*  
*Numero 78*

*La fisiologia della giraffa*

# La fisiologia della giraffa

*La testa dell'animale è tanto più alta del cuore e dei polmoni che il compito di fornirle sangue ossigenato richiede un'elevata pressione sanguigna e un respiro particolarmente profondo*

di James V. Warren

**L**a giraffa, mammifero adattatosi in modo spettacoloso per brucare le foglie degli alberi, è stata oggetto di curiosità fin dai tempi preistorici. Alcuni reperti archeologici dimostrano che essa si trovava non solo in Africa, ma anche nell'Europa meridionale e nel medio oriente. Sebbene la specie si fosse in seguito ritirata nelle savane africane, l'animale continuò a essere conosciuto nel mondo antico interno al Mediterraneo come una delle meraviglie della natura e fu importato per essere esibito come preda preziosa.

Ai nostri tempi la giraffa non suscita una curiosità minore, ma stranamente fino a pochi anni fa non fu sollevato alcun problema sugli adattamenti fisiologici presentati da questo eccezionale animale. Il primo fisiologo che si pose queste domande, fu August Krogh, danese, vincitore del premio Nobel per la fisiologia e la medicina nel 1920 per i suoi studi sui vasi sanguigni capillari. Alla conferenza Silliman all'Università di Yale nel 1929 Krogh si pose alcuni problemi sulla forte pressione che devono sopportare i capillari delle gambe della giraffa a causa dell'alta colonna di sangue che pesa su di loro. Considerando il fatto che il cuore della giraffa è almeno due metri e mezzo più in alto delle zampe, egli osservò che l'effetto della gravità, aggiunto all'azione pompante del cuore, dovrebbe rendere la pressione sanguigna nelle gambe così alta da spingere il fluido fuori dai capillari.

«Sarebbe estremamente interessante — notò Krogh — sapere come la giraffa evita lo sviluppo di edemi nelle sue lunghe gambe. Sfortunatamente non ci è stato possibile ottenere del sangue di giraffa per determinare la pressione osmotica.»

Vent'anni dopo il quesito fu posto in un'altra forma: come può la giraffa

pompare il sangue attraverso il suo suo lungo collo fino al cervello? In una giraffa ritta in piedi la testa è tra due e tre metri più alta del cuore, mentre nell'uomo la distanza verticale dal cuore al cervello è solo di circa trenta centimetri, e nella maggioranza degli altri animali, compresi quelli grossi, è di poco superiore.

Il funzionamento del cuore e del sistema circolatorio della giraffa, che conducono il sangue contro la gravità a un'altezza così notevole al di sopra del cuore, si dimostrò abbastanza sorprendente quando ci si pensò. Il fenomeno destò l'attenzione dei fisici interessati ai problemi della medicina dell'aviazione durante la seconda guerra mondiale. Essi calcolarono che la forza gravitazionale che una giraffa deve vincere per fornire il sangue al suo cervello corrisponde più o meno alla forza di accelerazione, parecchio più alta dell'accelerazione di gravità, che gli aviatori incontrano guidando aerei militari ad alta velocità. Allo scopo di prevenire le perdite di coscienza causate dal grosso cambiamento di pressione sanguigna nel cervello in queste circostanze, era stata creata per gli aviatori una tuta anti-gravità che attutiva l'impatto dell'accelerazione. Anche i medici dell'aeronautica pensarono che valesse la pena di osservare i meccanismi naturali con cui la giraffa risolve i propri grossi problemi circolatori.

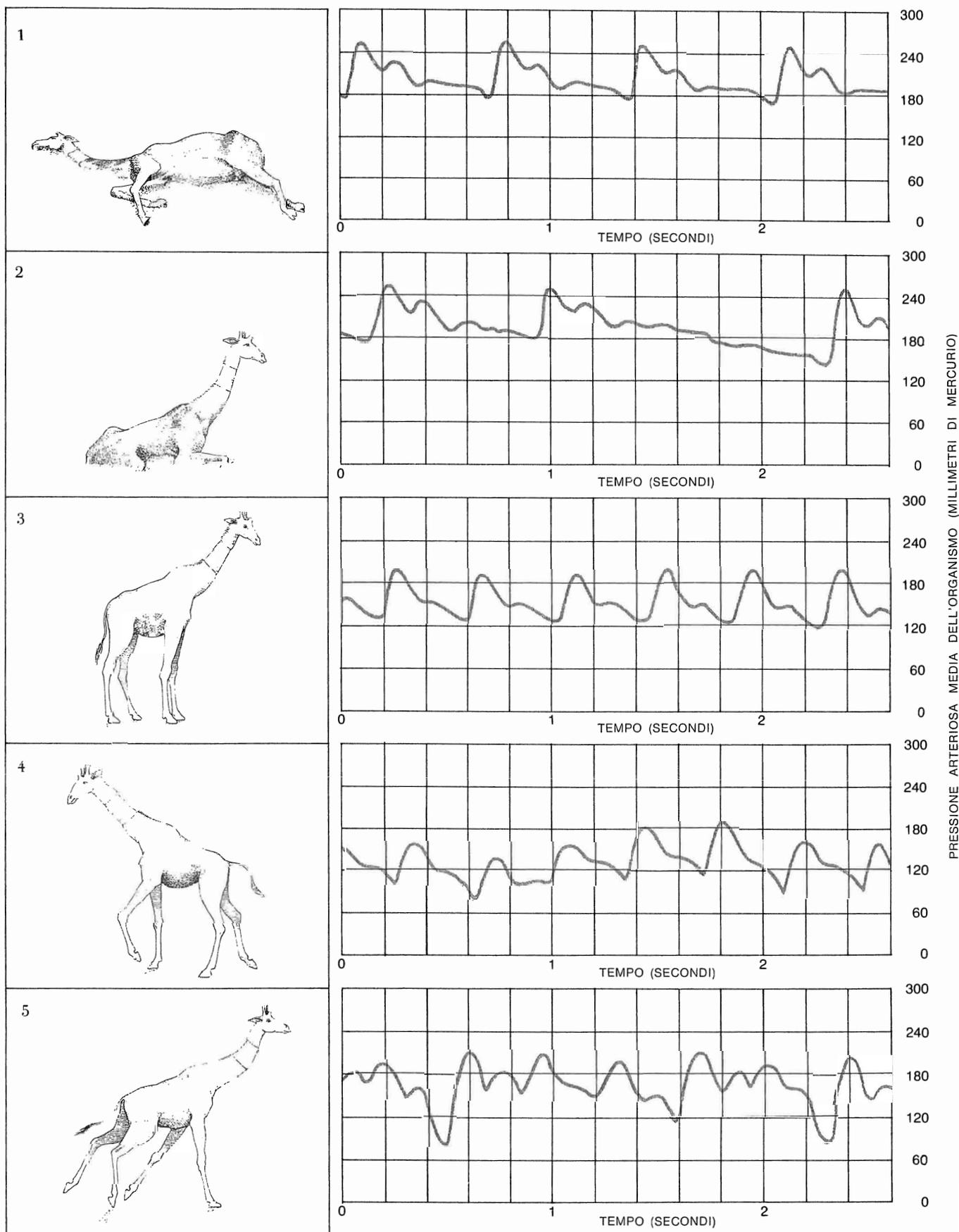
L'interesse verso questo problema è rimasto vivo dopo la seconda guerra mondiale. Quando John L. Patterson jr, Otto H. Gauer, Joseph T. Doyle e altri ricercatori negli Stati Uniti seppero di un simile interesse da parte di Robert H. Goetz e dei suoi colleghi in Sud Africa, suggerirono di creare un gruppo di studio internazionale. Verso la fine degli anni '50 il gruppo americano visitò il Sud Africa e in seguito fece degli studi negli Stati Uniti, usando

mucche come animali sperimentali, per ottenere dati comparati sulle funzioni circolatorie e respiratorie. Più recentemente un gruppo americano, che comprendeva Robert L. Van Citters, Dean L. Franklin, Stephen F. Vatner, Thomas E. Patrick e me, ha ottenuto con l'uso del telemetro misure dirette della pressione sanguigna in giraffe che vagavano libere nelle savane.

**L'**altezza di una grossa giraffa adulta è compresa di solito tra quattro metri e mezzo e cinque metri e mezzo. Il cuore dell'animale si trova a circa metà strada tra la testa e i piedi, cioè, normalmente, due metri o più al di sotto del cervello. Per l'analisi dell'attività del sistema circolatorio della giraffa era necessario confrontare le pressioni sanguigne a due livelli significativi: al cuore e al cervello. Il nostro gruppo ha fatto in modo di ottenere le misure di queste pressioni e del flusso sanguigno, in varie circostanze naturali: con l'animale sdraiato a terra, diritto in piedi e in moto attivo.

Per ottenere una stima diretta e accurata della pressione sanguigna abbiamo usato un misuratore di pressione molto sensibile inserito nella carotide. Il valore della pressione, rilevato da un diaframma nel dispositivo, veniva tradotto in un segnale di frequenza radio, che poteva essere raccolto da un ricevitore situato fino a 500 metri di distanza. Nel periodo delle osservazioni l'animale veniva seguito e si registravano su un nastro magnetico le variazioni della pressione sanguigna, che venivano poi messe in grafico.

I soggetti erano giraffe selvatiche, catturate con una fune da un veicolo che le rincorreva nelle pianure del Kenya. Dopo che la giraffa era stata catturata e legata, sdraiata per terra, si immetteva nel collo dell'animale il misuratore di pressione attraverso una pic-



La pressione e le pulsazioni del cuore variano secondo l'attività della giraffa. Quando l'animale è sdraiato (1), con il cuore e il cervello allo stesso livello, la pressione del sangue nell'arteria carotide varia tra 180 e 240 millimetri di mercurio. Il battito cardiaco, con quattro picchi principali in 2,5 secondi, è di circa 96 pulsazioni al minuto. Quando l'animale alza la testa (2) la pressione sanguigna rimane costante, ma il battito del cuore

diminuisce temporaneamente. Lo stare in piedi (3) e il camminare (4) portano il battito cardiaco a circa 150 pulsazioni al minuto, mentre la pressione sanguigna arteriosa cade a un valore compreso tra 90 e 150. Il galoppo (5) porta il battito cardiaco al suo valore massimo: 170 pulsazioni al minuto. La più alta pressione sanguigna durante il galoppo è di 220; i grossi cali di pressione coincidono con i battiti dello zoccolo anteriore.

cola incisione eseguita sotto anestesia locale nell'arteria carotide. In una giraffa di solito la carotide è lunga quasi due metri, è relativamente diritta e ha poche ramificazioni. L'apparecchio veniva posto nella parte superiore del collo, vicino alla testa. Nello stesso tempo immetteva un piccolo misuratore ultrasonico di flusso, che misurava la velocità del flusso sanguigno per mezzo della retrodiffusione di onde sonore ad alta frequenza dai globuli rossi. L'apparecchiatura, che includeva un piccolo trasmettitore e delle batterie a mercurio, veniva applicata sul collo della giraffa. Alla fine del periodo di osservazione l'animale veniva catturato di nuovo, si rimuovevano gli strumenti, si curavano le incisioni e la giraffa veniva lasciata libera senza danno per raggiungere i suoi compagni nella macchia.

Si poteva supporre che la prima misura della pressione sanguigna, eseguita mentre la giraffa era ancora sdraiata per terra, rappresentasse la pressione generata a livello del cuore dell'animale, anche se il misuratore si trovava vicino alla testa. Ovviamente nell'animale steso al suolo la circolazione sanguigna non è molto influenzata dalla gravità; perciò la pressione nell'arteria carotide dovrebbe avere circa lo stesso valore vicino al cuore e vicino alla testa. (Esperimenti con il misuratore posto nella carotide alla base del collo hanno confermato questa ipotesi).

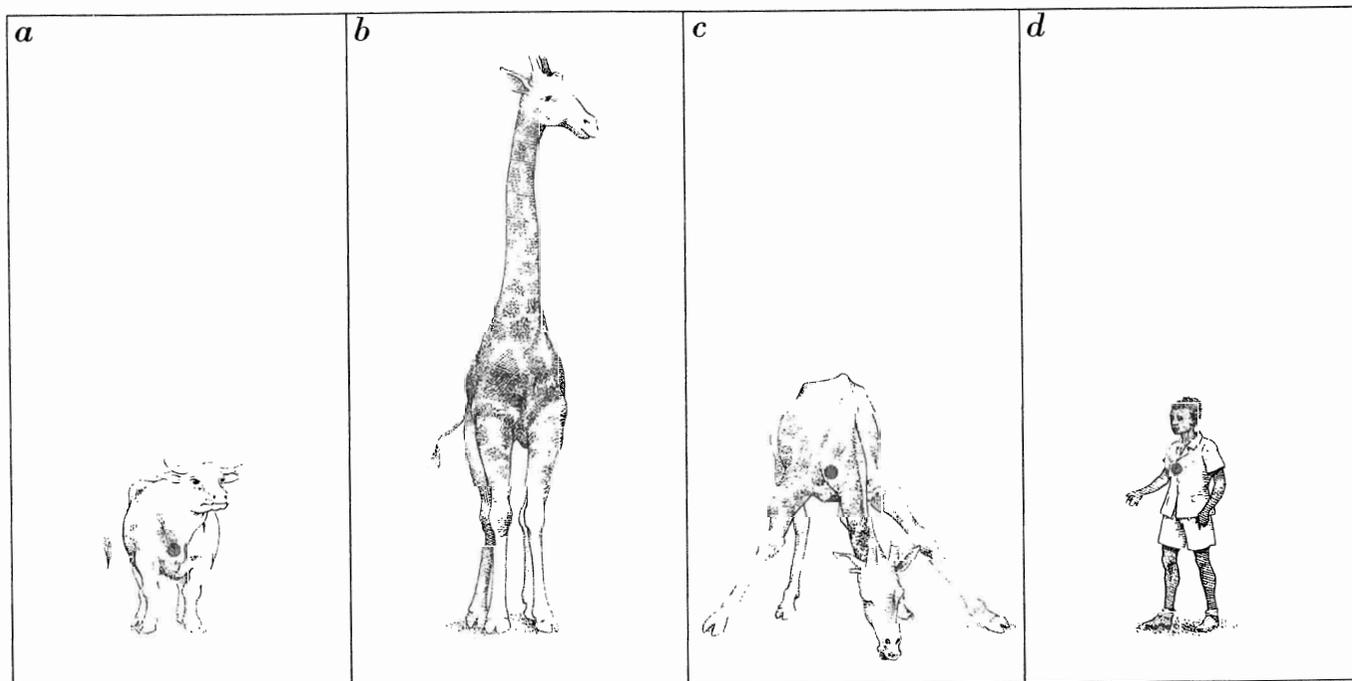
Si è dimostrato che la pressione sanguigna della giraffa a livello del cuore è molto più alta di quella misurata in qualsiasi altro animale. La pressione sistolica al livello del cuore varia tra 200 e 300 millimetri di mercurio, e la pressione diastolica tra 100 e 170; la media tra la pressione diastolica (massima) e la pressione sistolica (minima) viene per brevità così indicata: 260/160. Confrontata con l'uomo, la giraffa è « ipertesa »: anche quando la sua pressione è minima (200/100) essa è molto lontana dalla media di 120/80 di un uomo in riposo. L'ipertensione della giraffa, tuttavia, non rappresenta una affezione vascolare ipertensiva, ma una condizione necessaria per fornire al cervello il sangue a una pressione sufficiente quando l'animale è in piedi.

Quando la giraffa viene lasciata libera, di solito alza la testa e rimane in una posizione rannicchiata, con le gambe sotto il corpo, per pochi secondi prima di alzarsi in piedi. Probabilmente questa pausa può rappresentare un adattamento, che fornisce il tempo sufficiente perché la circolazione si adegui. Si sa che, nell'uomo, un individuo con la pressione sanguigna bassa talvolta soffre di capogiri, o perde addirittura coscienza dopo essersi alzato bruscamente da una posizione coricata. In ogni modo la pressione sanguigna nella carotide della giraffa era notevolmente minore quando stava in piedi di quanto non fosse quando la misu-

ra veniva registrata a livello del cuore. Tenendo presente che lo strumento era applicato nel collo 35 centimetri al di sotto del cervello, i calcoli basati sulle registrazioni eseguite quando la giraffa era in piedi ferma indicavano che la pressione sanguigna del sangue entrante nel cervello aveva un valore medio di circa 120/75. Questa è circa la pressione con cui il sangue perfonde il cervello nell'uomo e nella maggior parte degli altri animali. Apparentemente il barostato, o controllore della pressione, agisce circa allo stesso valore nella maggior parte dei mammiferi, facendo in modo perciò che il cervello sia perfuso generalmente con sangue a una pressione di circa 120/80.

La pressione sanguigna, naturalmente, non è affatto costante: è influenzata da molti tipi di fatiche fisiche o mentali. Quando una giraffa veniva liberata e correva a raggiungere il suo branco, generalmente le registrazioni della sua pressione sanguigna riflettevano la natura della sua attività. Quando essa era in piedi ferma o camminava, la pressione della carotide oscillava tra 140/90 e 180/120. Durante una veloce corsa, come quando era cacciata per essere ricatturata, la pressione saliva a circa 220/150. Questo valore era ancora molto più basso della pressione registrata quando l'animale giaceva prono.

Che cosa succede quando una giraffa piega il collo verso il basso per bere? In questo caso la pressione nei vasi



Il cuore di una giraffa è situato tra due e tre metri al di sotto del cervello quando l'animale è in piedi (b). In un quadrupede normale, in questo esempio una mucca (a), e nell'uomo (d) la distanza tra il cuore e il cervello è molto minore.

il rifornimento di sangue al cervello è assicurato da una pressione sanguigna anormalmente alta. Questo potrebbe essere un grosso svantaggio quando l'animale beve (c), ma la posizione che esso assume riduce la distanza tra il cuore e il cervello.

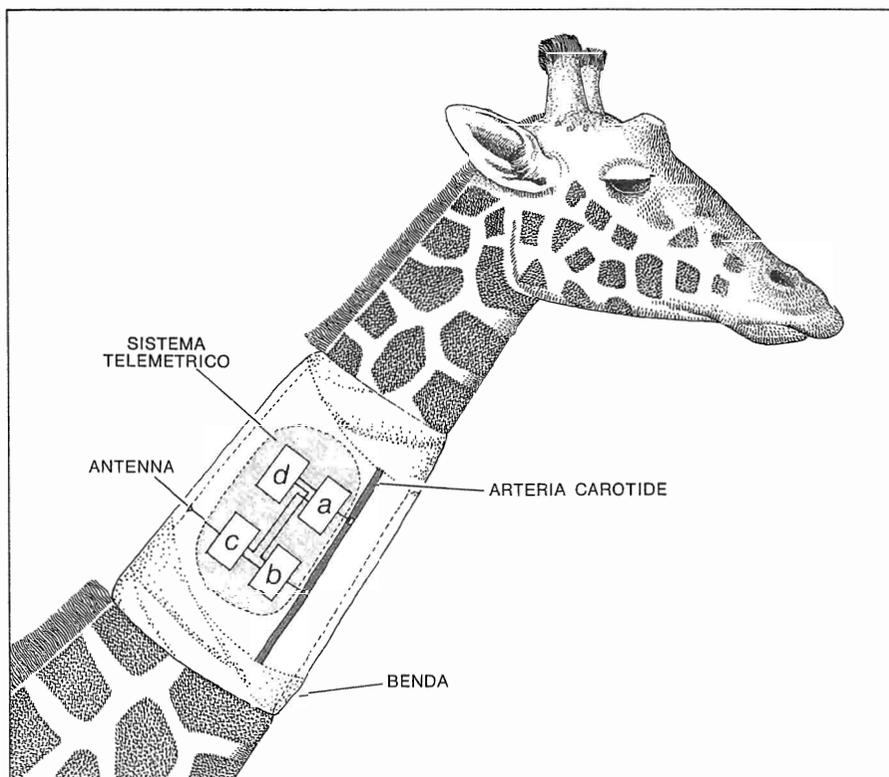
sanguigni del cervello e degli occhi dovrebbe essere più alta che non a livello del cuore. Come mai l'alta pressione non rompe questi vasi delicati o, almeno, non provoca una fuoriuscita di liquido da questi?

L'analisi del sangue della giraffa ha mostrato che la sua composizione chimica non è molto diversa da quella del sangue umano; è perciò difficile che la sua composizione lo renda particolarmente inadatto a passare attraverso le pareti dei vasi sanguigni. Nella giraffa le pareti delle arterie (e del cuore stesso) sono più spesse di quanto non siano in altri mammiferi. Questo fatto tuttavia non potrebbe prevenire una diffusione attraverso le pareti dei capillari più piccoli nel caso di una grossa differenza di pressione tra i due lati della parete. Riteniamo perciò che nella giraffa l'alta pressione all'interno dei vasi sanguigni sia controbilanciata in qualche modo da un aumento della pressione all'esterno dei vasi. Nel cervello questa funzione può essere svolta dal liquido cerebrospinale, che protegge il cervello e il midollo spinale. In effetti questo fluido, nel quale sono immersi i vasi sanguigni, funziona come una «tuta anti-gravità», tamponando l'impatto del flusso di sangue verso il basso quando la giraffa si piega per bere. L'animale inoltre usa un espediente del comportamento che minimizza la forza di gravità: quando si piega per bere allarga le gambe anteriori, in modo da abbassare il torace e portare il cuore più vicino a terra.

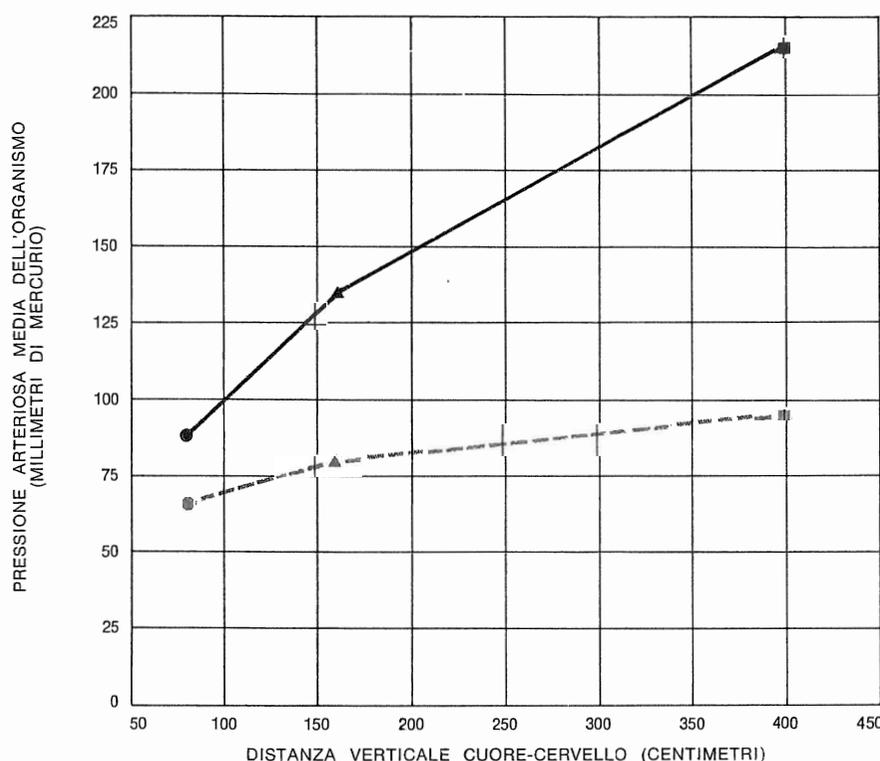
Sembra verosimile che i capillari nelle gambe della giraffa siano protetti in un modo analogo; l'alta pressione all'interno dei vasi è controbilanciata da una pressione esterna corrispondente. In questo caso la «tuta anti-gravità» è fornita dal liquido extracellulare che bagna i tessuti del corpo. La giraffa ha una pelle spessa e tesa, che sopporta facilmente queste alte pressioni.

In breve, una parte della risposta sia al quesito di Krogh, sia al problema del piegamento per bere è abbastanza semplice: sembra che il principale fattore che previene gli edemi al di sotto del cervello e del cuore sia un'altra pressione extravascolare, che controbilancia l'alta pressione all'interno dei vasi. Chiaramente, tuttavia, questa è solo una parte del problema.

Nella giraffa, come in altri animali, incluso l'uomo, l'azione di pompa dei muscoli gioca un ruolo molto importante, aiutando la circolazione del sangue e mitigando così la pressione nelle gambe. Quando una persona è stata seduta o in piedi molto tempo sen-



Il sistema telemetrico da noi usato comprendeva un misuratore di pressione (a), contenente un diaframma sensibile che traduceva le variazioni di pressione in segnali di frequenza radio; un flussometro (b), che rilevava la velocità del sangue per mezzo della retrodiffusione di onde sonore ad alta frequenza da parte dei globuli rossi del sangue e segnalava a un radiotrasmettitore (c); infine le batterie (d), che potenziavano le trasmissioni. I componenti erano protetti mediante un'imbottitura di gommapiuma. I misuratori erano immessi nella arteria carotide con incisioni separate.



Il confronto tra le pressioni sanguigne al livello del cuore (in nero) e del cervello (in colore) mostra un notevole incremento in relazione alla distanza cuore-cervello. Nell'uomo, supponendo che la distanza cuore-cervello sia di 34 centimetri, una pressione arteriosa media di 90 millimetri di mercurio al livello del cuore è sufficiente a portare il sangue al cervello con una pressione media di 65 millimetri di Hg. Nella giraffa i valori corrispondenti sono 215 a livello del cuore e 90 a livello del cervello.

za muoversi, non è difficile trovare che le sue caviglie hanno cominciato a gonfiarsi; questo edema è causato dalla lentezza della circolazione nelle gambe inattive. La forza richiesta per riportare il sangue delle gambe al cuore non è grande, né nell'uomo né nella giraffa, perché il sistema arteria-vena che congiunge il cuore alle gambe, e queste di nuovo al cuore, ha la forma di un tubo a U. Cioè, sullo stesso principio del funzionamento della pompa di un pozzo, è necessaria una piccola pressione per riportare il sangue nel braccio di ritorno allo stesso livello di quando è iniziato il pompaggio.

Per quanto riguarda il problema di come la giraffa spinga il sangue dal cuore al cervello, sembra che questo arduo compito possa essere svolto esclusivamente dall'alta pressione con cui il sangue viene scaricato dalle arterie nel cuore. Probabilmente il sistema arteria-vena nel lungo collo potrebbe dare un contributo alla circolazione agendo come un tubo a U invertito e producendo un effetto simile a un sifone. Non è sicuro tuttavia che questo aiuto sia necessario: la pressione arteriosa di per sé è sufficiente a spingere il sangue al cervello con una pressione adeguata per nutrirlo.

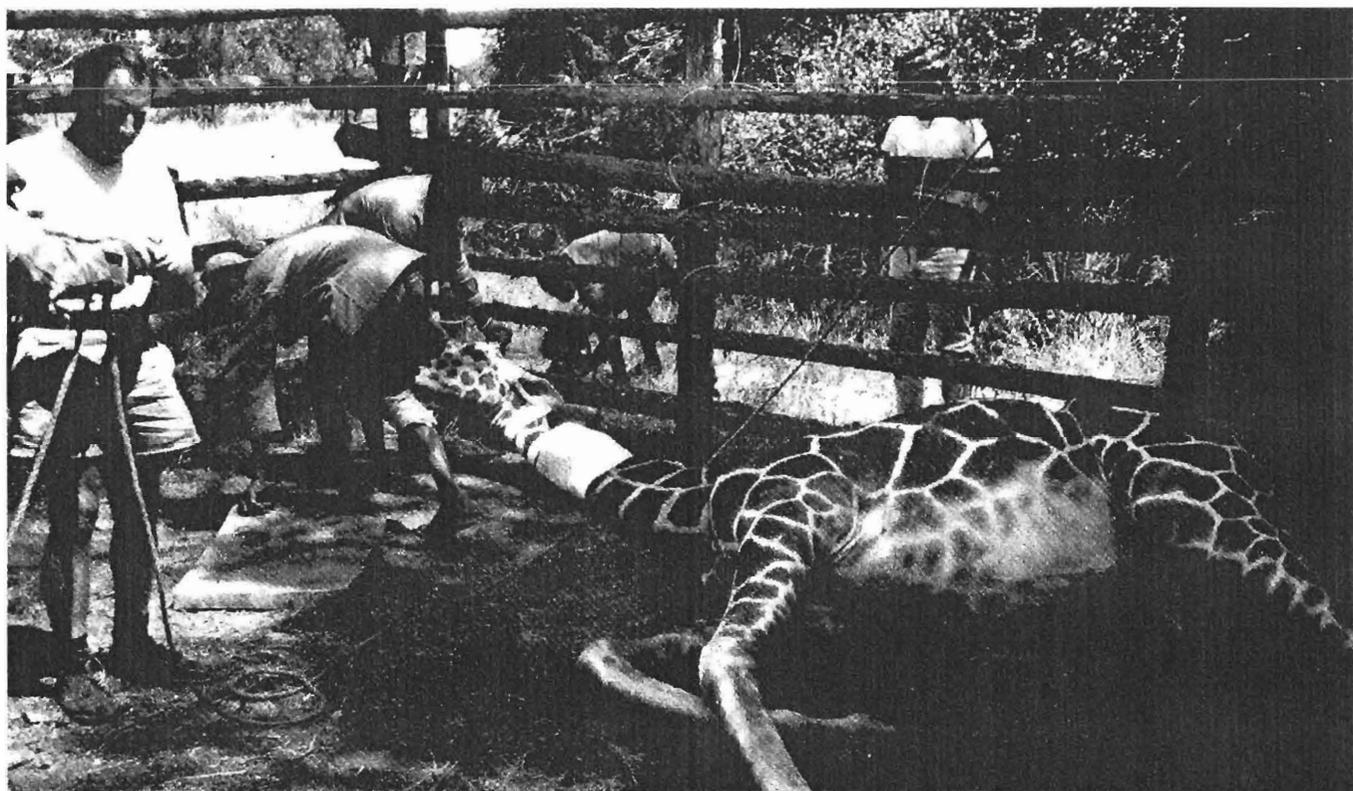
È stato suggerito che le arterie carotidi della giraffa possiedano una configurazione particolare. Sembra che, prima di entrare nel cervello, ognuna di

queste arterie si divida in una rete di piccoli vasi che assomigliano al sistema trovato in altri animali: la «rete mirabile». In certi animali questa rete serve come uno scambiatore di calore in controcorrente, che rende alcune specie, come i trampolieri, capaci di mantenere normale la temperatura del corpo anche se le loro estremità sono molto fredde; il sangue che ritorna dalle estremità viene scaldato prima di rientrare nella circolazione generale. Sono state trovate reti simili che svolgono funzioni di scambio diverse, come il trasporto di ossigeno o di elettroliti. Potrebbe darsi che la rete mirabile all'entrata del cervello della giraffa agisca in qualche modo regolando la pressione sanguigna nel cervello.

Oltre ai problemi circolatori, la giraffa deve risolvere altre difficoltà. Una delle più interessanti è correlata alla respirazione. La trachea nel lungo collo della giraffa può essere lunga più di un metro e mezzo e avere un diametro di cinque centimetri o più; la sua capacità totale può quindi ammontare a più di tre litri. Questo è uno «spazio morto», poiché, anche se ogni respiro d'aria deve riempire sia la trachea che i polmoni, l'aria nella trachea non assolve a compiti utili per lo scambio di gas. Se l'uomo avesse a che fare con uno spazio morto così grande, quasi soffocherebbe. La sua inspirazio-

ne di aria fresca basterebbe a mala pena a riempire la trachea, da dove non potrebbe raggiungere i polmoni; al contrario l'esalazione dei polmoni, carica di anidride carbonica, resterebbe intrappolata nella trachea e tornerebbe nei polmoni nell'inspirazione successiva. La giraffa risolve questo problema con un'iperventilazione, respirando più profondamente e più rapidamente dell'uomo. Si è scoperto che le giraffe, anche in riposo, hanno un numero di respiri al minuto maggiore di 20, mentre il valore corrispondente nell'uomo varia tra 12 e 15. Contrariamente all'uomo e agli altri mammiferi, la giraffa impiega più tempo nell'inspirazione che nell'espirazione. Tuttavia, il suo sangue arterioso contiene una quantità di ossigeno particolarmente bassa. Si è scoperto che le giraffe si trovano in difficoltà in ambienti dove l'aria ha un basso contenuto di ossigeno, come ad altitudini elevate.

La giraffa è un'affascinante anomalia della natura. I ricercatori hanno imparato molto dai reni particolari dei pesci primitivi, dalla capacità dei topi del deserto di concentrare l'urina per conservare l'acqua, dagli elettrocardiogrammi delle balene e dall'insufficienza cardiaca del bestiame ad altitudini elevate. Anche la giraffa, animale quanto mai strano agli occhi dell'uomo, ha probabilmente molto da dirci su come noi siamo formati.



Una giraffa giace distesa in un recinto in Kenya, mentre gli sperimentatori immettono un paio di misuratori nell'arteria

del collo. L'animale portava l'apparato telemetrico che permetteva di registrare le variazioni nella pressione sanguigna.